

DAS E-LASTENRAD ALS ALTERNATIVE IM STÄDTISCHEN  
WIRTSCHAFTSVERKEHR. DETERMINANTEN DER  
NUTZUNG EINES „NEUEN ALTEN“ FAHRZEUGKONZEPTS

DISSERTATION

zur Erlangung des akademischen Grades  
*doctor rerum naturalium*  
(Dr. rer. nat., Doktor der Naturwissenschaften)

im Fach Geographie

eingereicht an der  
Mathematisch-Naturwissenschaftlichen Fakultät der  
Humboldt-Universität zu Berlin

von  
Dipl.-Geogr. Johannes Gruber

Präsidentin der Humboldt-Universität zu Berlin  
Prof. Dr.-Ing. Dr. Sabine Kunst

Dekan der Mathematisch-Naturwissenschaftlichen Fakultät  
Prof. Dr. rer. nat. Elmar Kulke

Gutachter\*innen:   1.     Prof. Dr. rer. nat. Barbara Lenz  
                          2.     Prof. Dr. rer. nat. Elmar Kulke  
                          3.     Prof. Dr. rer. pol. Gernot Liedtke

Tag der Abgabe: 25. Juli 2020

Tag der mündlichen Prüfung: 9. Februar 2021

## **Zusammenfassung**

Die Verkehrsverlagerung auf emissionsarme Fahrzeuge wird als ein Lösungsansatz für die wachsenden Herausforderungen des städtischen Wirtschaftsverkehrs gesehen. Fokus dieser Arbeit ist das Fahrzeugkonzept E-Lastenrad, um wissenschaftliche Erkenntnisse als Grundlage zur Abschätzung der Machbarkeit bereitzustellen. Diese Betrachtung verknüpft konzeptionelle, verkehrliche und wirtschaftliche Aspekte und basiert auf den ersten beobachtbaren Nutzungsansätzen im urbanen Raum und den auf sie wirkenden Einflussfaktoren. Die Arbeit fußt auf Daten, die unter Verknüpfung von qualitativen und quantitativen Methoden erfasst und ausgewertet wurden. Als kumulative Dissertation enthält sie fünf Fachartikel, gruppiert zu drei Forschungsbeiträgen.

Im ersten Forschungsbeitrag wird erörtert, wie erfolgversprechend das E-Lastenrad, eine elektrifizierte Neuauflage des alten Konzepts Lastenfahrrad, in einem Markt mit ersten Anwendern (Kurierdienstleistung) ist. Die Auftragsstruktur im Stadtkuriergeschäft bietet ein substanzielles Marktpotenzial für E-Lastenräder und damit Handlungsspielräume für klassische Kurierdienste und Radlogistik-Start-ups. Allerdings erschwert die Positionierung zwischen zwei etablierten Modi (Pkw und Fahrrad) den Markteintritt. Für die wenig erforschte Berufsgruppe der selbstständigen Kurier\*innen hat das Lastenrad einen selbstverständlichen Platz in der urbanen Logistik, allerdings ist ein Umstieg alleine aus umweltbezogenen Motivationen unwahrscheinlich, insbesondere von derzeitigen Autokurier\*innen.

Der zweite Teil der Analyse weitet den Blick auf alle Wirtschaftszweige und bietet eine strukturierte Beschreibung der verschiedenartigen Einflussfaktoren (Treiber und Hemmnisse), die auf die Lastenradnutzung im städtischen Wirtschaftsverkehr wirken. Fahrzeugseitige Aspekte wie elektrische Reichweite, Ladekapazität und Qualität der Bauteile sind relevante Entscheidungskriterien und hier noch bestehende Hemmnisse sollten abgebaut werden. Die Ausführungen zeigen aber auch, dass ein weit komplexeres Geflecht an Determinanten wirksam ist, so z.B. auch die Strukturen und operativen Abläufe des adoptierenden Unternehmens, die Erfahrungen und Einstellungen der Entscheider\*innen, aber auch weiche Faktoren wie Spaß, Image und Gesundheitsförderung. Gleichzeitig sind auch die regulativen und konkreten räumlichen Rahmenbedingungen zu berücksichtigen.

Der dritte Forschungsbeitrag thematisiert die operative Eignung des untersuchten Fahrzeugkonzepts, indem seine Fahrtzeiten einem Pkw gegenübergestellt werden. Bei Strecken bis zu 3 km sind beide Modi nahezu gleich schnell. Die Hälfte aller Fahrten bis 20 km Distanz würde bei einem Wechsel vom Pkw zum Lastenrad höchstens 2 – 10 min länger dauern. Dabei sind zusätzliche Zeiten für Parkplatzsuche und Fußweg zum Ziel noch nicht berücksichtigt. Bereits kleine Änderungen an den Verkehrsbedingungen – etwa durch Stau oder Stärkung der Benutzungsvorteile des Lastenrads – haben einen substanziellen Effekt hinsichtlich der Verringerung der noch bestehenden Fahrtzeitevorteile von konventionellen Fahrzeugen.

Insgesamt leistet diese Dissertation einen Beitrag zum Stand der Wissenschaft, indem sie maßgeblich das Wissen zu einem „neuen alten“ Fahrzeugkonzept erweitert, das von Politik und Praxis als Alternative im städtischen Wirtschaftsverkehr gehandelt wird und dem ein Potenzial zur Auflösung von bislang auf das Automobil hin ausgerichteten Systemen beigemessen wird.

**Schlagwörter:** Wirtschaftsverkehr, Fahrzeugkonzept, Lastenrad, Lastenfahrrad, Verkehrsverlagerung, Nachhaltiger Güterverkehr, Nutzungsdeterminanten, Treiber und Hemmnisse, Machbarkeitsanalyse, Nutzerakzeptanz, Fahrzeugwahl, Elektromobilität, Nachhaltigkeitsinnovation, Regressionsanalyse, Empirische Forschung, GPS-Datenanalyse, Letzte Meile, KEP, Kurierdienstleistung, Lieferverkehr, Personenwirtschaftsverkehr, Verkehrswende, Urbane Mobilität, Radverkehr, Verkehrsgeographie

## Summary

### **Are Electric Cargo Bikes an Alternative for Urban Commercial Transportation? Factors Determining the Use of an Updated and Re-envisioned Vehicle Concept**

Shifting trips to low-emission vehicles is one possible solution to deal with the growing challenges of urban commercial transport. This thesis focuses on the vehicle concept of electric cargo bikes and provides scientific findings as a foundation to assess their feasibility. This approach combines conceptual, transport-related, and economic aspects. It is based on the first observable types of usage in urban contexts and the determinants affecting their use. This research is based on the analysis of qualitative and quantitative data and methods. As a cumulative dissertation, this work contains five scientific papers, which provide three research contributions.

The first research contribution identifies the potential of electric cargo bikes in a market with first users (i.e., courier logistics services). Electric cargo bikes are an updated and re-envisioned version of freight bicycles. The features of point-to-point courier logistics assignments offer a substantial market opportunity for electric cargo bikes and therefore room to maneuver both for traditional regional courier logistics companies, as well as for start-ups in the field of cycle logistics. However, being positioned between two established modes (i.e., car and bicycle) handicaps the market entry of cargo bikes. For the under-researched group of self-employed messengers, the cargo bike has a natural place within urban logistics. However, it was found to be less likely that messengers (especially those now using cars) will switch to an electric cargo bike just because of environmental motives.

For the second research contribution, the scope was widened to include all business sectors. A structured description is presented of the various determinants (i.e., drivers and barriers) affecting commercial cargo bike use. Vehicle-specific factors (e.g., electric range, loading capacity, and material quality) are found to be relevant decision criteria; nevertheless, existing barriers should still be reduced. However, the analysis also shows a complex network of additional effective determinants (e.g., corporate structures and business practices of the adopting company, experience, and attitudes of decision-makers), as well as soft factors (e.g., fun, image and health promotion). Simultaneously, regulatory frameworks and specific spatial conditions need to be taken into account.

The third contribution explores electric cargo bikes' operative feasibility and travel time performance by quantifying the travel time differences between them and conventional vehicles for commercial trips. For trip distances of up to 3 kilometers, the travel times of both modes largely overlap. Half of all trips up to 20 kilometers would take only a maximum of 2–10 minutes longer if shifted from car to electric cargo bike. It should be noted that the additional time for finding a parking spot or walking to the destination point was not considered. Small modifications to the traffic situation (e.g., more rigorous penalization of double parking, strengthening bicycle use advantages) could have substantial effects in reducing the current travel time advantages of conventional vehicles.

Consequently, this dissertation contributes towards the state of research by substantially expanding the scientific knowledge of an updated and re-envisioned vehicle concept. Electric cargo bikes are currently being assessed as an alternative for urban commercial transport by policy-makers and industry alike, and have the potential to disrupt car-dependent transportation systems.

**Keywords:** Commercial Transport, Vehicle Concept, Cargo Cycle, Electric Cargo Bike, Freight Bicycle, Mode Shift, Sustainable Urban Freight, Drivers and Barriers, Influencing Factors, Drivers and Barriers, Feasibility Study, User Acceptance, Vehicle Type Choice, Electric Mobility, Sustainability Innovation, Regression Analysis, Empirical Research, GPS Data Analysis, Urban Freight, Last-Mile Deliveries, City Logistics, Courier Logistics, Service Trips, Urban Mobility, Transport Geography

## **Inhaltsverzeichnis (Kurzfassung)**

1	Motivation .....	1
2	Forschungsstand .....	2
3	Gesamtkonzeption und methodische Vorgehensweise.....	34

### **Forschungsbeitrag A:**

4	Fachartikel A-1: A New Vehicle for Urban Freight? An Ex-ante Evaluation of Electric Cargo Bikes in Courier Services .....	38
5	Fachartikel A-2: Reject or Embrace? Messengers and Electric Cargo Bikes .....	58

### **Forschungsbeitrag B:**

6	Fachartikel B-1: Einflussfaktoren bei der Einführung des Lastenrads im urbanen Wirtschaftsverkehr .....	69
7	Fachartikel B-2: Drivers and Barriers to the Adoption of Cargo Cycles: An Exploratory Factor Analysis.....	87

### **Forschungsbeitrag C:**

8	Fachartikel C: Travel Time Differences between Cargo Cycles and Cars in Commercial Transport Operations.....	96
9	Synthese und Diskussion .....	115
10	Schlussfolgerungen und Ausblick .....	133
11	Gesamtliteraturverzeichnis .....	136



# Inhaltsverzeichnis

Zusammenfassung.....	II
Summary .....	III
Inhaltsverzeichnis (Kurzfassung).....	IV
Inhaltsverzeichnis.....	V
Tabellenverzeichnis.....	VIII
Abbildungsverzeichnis.....	IX
Abkürzungsverzeichnis.....	X
Widmung und Danksagung.....	XI
<b>1 Motivation .....</b>	<b>1</b>
<b>2 Forschungsstand .....</b>	<b>2</b>
2.1 Einschlägige Entwicklungen im städtischen Wirtschaftsverkehr .....	2
2.1.1 Begriffsbestimmungen und Charakteristika .....	2
2.1.2 Rahmenbedingungen und Dynamiken.....	3
2.1.3 Status quo und Herausforderungen.....	5
2.1.4 Allgemeine Lösungsansätze im städtischen Wirtschaftsverkehr .....	6
2.1.5 Spezifische Maßnahme: Ausbau der gewerblichen Lastenradnutzung.....	7
2.1.5.1 Argumentationen für eine Förderung gewerblicher Lastenradnutzung.....	7
2.1.5.2 Einbettung in bereits identifizierte Maßnahmenpakete.....	9
2.1.5.3 Aktuell diskutierte Förderoptionen.....	9
2.2 Das elektrifizierte Lastenrad – ein neuartiges und altbekanntes Fahrzeugkonzept.....	11
2.2.1 Geschichtlicher Abriss der gewerblichen Lastenradnutzung.....	11
2.2.2 Rechtliche Rahmenbedingungen .....	11
2.2.3 Bauformen von Lastenrädern und ihre Charakterisierung.....	12
2.3 Derzeitige gewerbliche Nutzung von Lastenrädern .....	14
2.3.1 Segmentierung von Nutzungsarten.....	14
2.3.2 Eigene Initiativen von Unternehmen der Logistikbranche .....	17
2.3.3 Branchenübergreifende öffentliche Lastenrad-Testprogramme .....	18
2.3.4 Statistiken zu Absatz und Nutzung .....	19
2.4 Dimensionen der Bewertung von Lastenrädern im städtischen Wirtschaftsverkehr.....	21
2.4.1 Vor- und Nachteile gewerblicher Lastenradnutzung gegenüber konventionellen Fahrzeugen.....	21
2.4.2 Verlagerungspotenzial und damit verbundene Entlastung.....	25
2.4.3 Verkehrliche Eignung.....	28
2.4.4 Wirtschaftlichkeit .....	28
2.4.5 Bisheriger Markterfolg .....	32
2.5 Forschungslücke.....	33
<b>3 Gesamtkonzeption und methodische Vorgehensweise.....</b>	<b>34</b>
<b>4 Fachartikel A-1: A New Vehicle for Urban Freight? An Ex-ante Evaluation of Electric Cargo Bikes in Courier Services .....</b>	<b>38</b>
4.1 Introduction.....	38
4.2 Research questions, data and methods .....	40
4.3 The potential market for E-CB.....	42
4.3.1 Distribution of bike and car shipments in urban areas.....	42
4.3.2 A case study: Berlin.....	43
4.3.3 Key features of courier shipments: distance, weight/volume, time .....	44
4.3.4 Duration and daily mileages of courier trip chains .....	45
4.4 Courier logistics organization today .....	47
4.4.1 Vehicle cost .....	47
4.4.2 Courier companies' operational management .....	47
4.5 E-CB acceptance: the messengers' perspective .....	49
4.5.1 Socio-demographics of surveyed messengers .....	49
4.5.2 Current vehicles and professional practices.....	50
4.5.3 Messengers' awareness of and attitudes towards E-CBs .....	51
4.5.4 Possible interactions with job-related features .....	52

4.6	Willingness to use an E-CB .....	52
4.6.1	Model results .....	52
4.6.2	Vehicle assessment .....	55
4.7	Research Implications .....	56
<b>5</b>	<b>Fachartikel A-2: Reject or Embrace? Messengers and Electric Cargo Bikes .....</b>	<b>58</b>
5.1	Introduction .....	58
5.2	Project context, data and methods .....	60
5.2.1	Electric cargo bikes for courier logistics in Germany .....	60
5.2.2	Rejection analysis .....	61
5.3	Results .....	62
5.3.1	Characterization of messengers in Germany .....	62
5.3.2	Factors influencing electric cargo bike rejection .....	65
5.4	Interpretation .....	66
5.5	Conclusion .....	68
<b>6</b>	<b>Fachartikel B-1: Einflussfaktoren bei der Einführung des Lastenrads im urbanen Wirtschaftsverkehr .....</b>	<b>69</b>
6.1	Motivation, Ziel und Hintergrund des Beitrags .....	69
6.2	Einflussfaktoren auf die Adoption von Innovationen .....	70
6.2.1	Umfeldspezifische Merkmale .....	70
6.2.2	Adopterspezifische Merkmale: .....	71
6.2.3	Produktspezifische Merkmale .....	72
6.2.4	Adoption von Nachhaltigkeitsinnovationen im Verkehrsbereich .....	72
6.3	Methodik .....	73
6.4	Formen gewerblicher Lastenradnutzung .....	74
6.4.1	Postdienstleistung .....	74
6.4.2	Kurierdienstleistung .....	74
6.4.3	Paketdienstleistung .....	74
6.4.4	Lieferservice .....	75
6.4.5	Werkverkehr .....	75
6.4.6	Personenwirtschaftsverkehr .....	75
6.5	Umfeldspezifische Einflussfaktoren .....	76
6.5.1	Regulative Rahmenbedingungen .....	76
6.5.2	Sozialräumlicher Kontext .....	77
6.5.3	Ökonomisches Umfeld .....	78
6.6	Unternehmensspezifische Einflussfaktoren .....	78
6.6.1	Organisationale Entscheidungsstrukturen bei der Anschaffung gewerblich genutzter Lastenräder .....	78
6.6.2	Lastenräder als Teil von Unternehmensstrategien .....	80
6.6.3	Subjektive Einstellungen der Entscheider .....	81
6.7	Fahrzeugspezifische Einflussfaktoren .....	82
6.7.1	Eignung für Transportaufgaben (Kompatibilität) .....	82
6.7.2	Vergleich des Lastenrads mit konventionellen Fahrzeugen (relativer Vorteil/Nachteil) .....	83
6.7.3	Verfügbarkeit von Lastenrädern (Erprobbarkeit) .....	84
6.8	Zusammenfassung und Ausblick .....	85
<b>7</b>	<b>Fachartikel B-2: Drivers and Barriers for the Adoption of Cargo Cycles: An Exploratory Factor Analysis .....</b>	<b>87</b>
7.1	Introduction .....	87
7.2	Method .....	88
7.2.1	Project background and sample .....	88
7.2.2	Statistical analysis .....	90
7.3	Results .....	91
7.3.1	Factor structure .....	91
7.3.2	Factor scores .....	92
7.4	Interpretation .....	92
7.4.1	Factor structure .....	92

7.4.2	Factor scores .....	93
7.5	Conclusion .....	95
<b>8</b>	<b>Fachartikel C: Travel Time Differences between Cargo Cycles and Cars in Commercial Transport Operations.....</b>	<b>96</b>
8.1	Introduction.....	96
8.2	State of the Art .....	98
8.3	Research Setting.....	100
8.3.1	Project Background: “Ich entlaste Städte” – The German Cargo Cycle Testing Scheme for Commercial and Public Users .....	100
8.3.2	Data Collection .....	100
8.3.2.1	Cycle Trip Details .....	100
8.3.2.2	Car Trip Details.....	100
8.3.2.3	Other Variables and Data.....	100
8.4	Sample Descriptive Statistics.....	101
8.4.1	Geographic Background .....	101
8.4.2	Organizational Background .....	101
8.4.3	User Characteristics .....	101
8.4.4	Vehicle Characteristics .....	101
8.4.5	Trip Characteristics.....	102
8.5	Model Estimation.....	104
8.6	Model Results .....	105
8.7	Model Application .....	109
8.8	Scenario Analysis.....	111
8.9	Discussion .....	112
8.10	Conclusion .....	113
8.11	Acknowledgements .....	114
8.12	Author Contributions .....	114
<b>9</b>	<b>Synthese und Diskussion.....</b>	<b>115</b>
9.1	Marktchancen und Nutzerakzeptanz am Beispiel Kurierdienstleistung (Forschungsbeitrag A).....	115
9.1.1	Marktchancen .....	115
9.1.2	Nutzerakzeptanz .....	117
9.1.3	Methodische Limitationen .....	118
9.2	Treiber und Hemmnisse gewerblicher Lastenradnutzung (Forschungsbeitrag B).....	118
9.2.1	Exploration anhand von drei Einflussphären .....	118
9.2.2	Methodische Limitationen dieser Betrachtungsweise.....	119
9.2.3	Vorschlag einer Weiterentwicklung .....	119
9.2.4	Reflexion der Determinanten nach Dimensionsreduktion durch Hauptkomponentenanalyse.....	123
9.2.5	Bedingte Aussagekraft zur Wirkstärke von Treibern und Hemmnissen.....	124
9.3	Verkehrliche Eignung im Vergleich zu konventionellen Fahrzeugen (Forschungsbeitrag C).....	125
9.3.1	Reflexion der ermittelten Fahrtzeitenunterschiede in der vorliegenden Datenbasis .....	125
9.3.2	Berücksichtigung der Parksuchzeit.....	126
9.3.3	Erklärungsansätze der Fahrtzeitenunterschiede im Kontext der anderen Forschungsbeiträge .....	127
9.4	Übergreifende Betrachtung der Forschungsbeiträge.....	128
9.4.1	Grundsätzliche Machbarkeit des Einsatzes von Lastenrädern im städtischen Wirtschaftsverkehr.....	128
9.4.2	Anknüpfungspunkte für weitere Forschung.....	130
9.4.3	Fachliche Einordnung.....	132
<b>10</b>	<b>Schlussfolgerungen und Ausblick .....</b>	<b>133</b>
<b>11</b>	<b>Gesamtliteraturverzeichnis.....</b>	<b>136</b>
	<b>Eidstattliche Erklärung / Selbständigkeitserklärung.....</b>	<b>151</b>
	<b>Anhang: Druckfassungen der veröffentlichten fünf Fachartikel .....</b>	<b>152</b>

## Tabellenverzeichnis

Tab. 1	Typische Lastenradbauformen mit ihren Transportkapazitäten und Einsatzfeldern (verändert nach Behrensen & Gruber (2017), Angaben zur Nutzlast von Schenk et al. (2017)).....	13
Tab. 2	Vergleich zwischen zweirädrigen und drei-/vierrädrigen Lastenrädern (Brost et al. 2019: 30) .....	14
Tab. 3	Kennwerte der Lastenradnutzung nach BMVI Fahrrad-Monitor 2017 und 2019.....	20
Tab. 4	Übersicht: Vor- und Nachteile der Lastenradnutzung .....	22
Tab. 5	Abschätzung des Verlagerungspotenzials im Rahmen des Projekts WIV-RAD (Gruber & Rudolph 2016:52, eigene Berechnung auf Basis der KiD 2010) .....	27
Tab. 6	Strukturierung der Arbeit in drei Forschungsbeiträge bzw. Teilfragestellungen.....	34
Tab. 7	Zuordnung der fünf Fachartikel zu den drei Forschungsbeiträgen dieser Dissertation .....	35
Tab. 8	Entstehungskontext der Fachartikel im Rahmen von Projekten am DLR-Institut für Verkehrsforschung .....	35
Tab. 9	Common costs for purchase, maintenance and fuel for vehicles used in courier services.....	47
Tab. 10	Variables that influence a messengers' willingness to use an E-CB instead of their present vehicle for courier services. Binary logit regression .....	54
Tab. 11	Building the variable "rejection of electric cargo bikes" out of the survey responses.....	61
Tab. 12	Characterization of messengers in courier logistics (n=362).....	63
Tab. 13	Model results (n=362).....	66
Tab. 14	Segmentierung der Interviewpartner.....	73
Tab. 15	Typologie flottenbezogener Entscheidungsstrukturen für die Marktsegmente gewerblicher Lastenradnutzung .....	79
Tab. 16	Fahrzeugspezifische Einflussfaktoren.....	82
Tab. 17	Set of 23 items with positive and negative statements concerning cargo cycle use .....	89
Tab. 18	Results of the exploratory factor analysis displayed in the rotated component matrix. Given are item loadings on the seven factors, as well as communality (h <sup>2</sup> ) for each item and total explained variance in % for each factor. ....	91
Tab. 19	Fleet and Trip Characteristics .....	102
Tab. 20	Estimation Results .....	107
Tab. 21	Effects of the Independent Variables.....	108
Tab. 22	Synthese der Analyse von Treibern und Hemmnissen der gewerblichen Lastenradnutzung.....	121
Tab. 23	Durchschnittsgeschwindigkeiten von Lastenrädern gegenüber simulierten Pkw-Fahrten....	127

## Abbildungsverzeichnis

Fig. 1	Modell der Motorentransition (Dablanc & Rodrigue 2017:46) .....	5
Fig. 2	Das „Sinnbild Lastenfahrrad“ ist ein neues Verkehrszeichen der StVO-Novelle von 2020 .....	8
Fig. 3	Market segments of cargo bicycle transport (Maes 2017:115) .....	15
Fig. 4	Exemplarische Nutzungen von Lastenrädern in diversen gewerblichen Kontexten.....	16
Fig. 5	Teilnehmer am Lastenrad-Testprogramm "Ich entlaste Städte" nach Wirtschaftszweig im Vergleich zu den deutschlandweiten, prozentualen Verteilungen der Unternehmen und Erwerbstätigen nach Wirtschaftszweig (eigene Berechnungen nach Gruber (2020), Destatis (2020d), Destatis (2020a)) .....	19
Fig. 6	Anteile von Fahrrad-Modellgruppen am Verkauf von Pedelecs und E-Bikes 2018 in Deutschland (ZIV 2020:18, eigene Darstellung) .....	20
Fig. 7	Jahresabsatz von E-Lastenrädern in Deutschland (ZIV 2019:23, eigene Darstellung).....	20
Fig. 8	Erzielbarer Jahresgewinn von Transportfahrzeugen bei dreijähriger Verwendung für Kurierdienstleistungen in Abhängigkeit der Jahresfahrleistung (Gruber et al. 2013:157).....	29
Fig. 9	Kosten je Paket bei verschiedenen Fahrzeug- / Logistikkonzepten (Rudolph et al. 2018:7) .....	31
Fig. 10	Example picture of a 2-wheel electric cargo bike (E CB) as used in the project “Ich ersetze ein Auto” by German courier companies .....	40
Fig. 11	Core business areas of 6 German courier companies in six major German cities .....	43
Fig. 12	OD-relations of courier shipments by bikes and cars in central Berlin .....	44
Fig. 13	Bike vs. car shipments: cumulative frequencies of single shipment distances .....	45
Fig. 14	Bike vs. car shipments: cumulative frequencies of aggregated daily mileages .....	46
Fig. 15	General assessment of the usability of E CBs (n=188).....	51
Fig. 16	Relevant characteristics of E CBs (n=127) .....	55
Fig. 17	A messenger riding one of the electric cargo bikes used in the fleet test.....	60
Fig. 18	Cargo cycles offered for testing within this research project.....	89
Fig. 19	Allocation of the surveyed 23 items to the seven factors F1 to F7; unweighted factor scores showing respondents’ mean agreement.....	92
Fig. 20	Distribution of trip distances in sample (n=1,421) and KiD 2010 (n=2.37 billion).....	102
Fig. 21	Travel times of cargo cycles and cars versus trip distance.....	104
Fig. 22	Residual distribution from OLS (A), GLS (B), and random intercept Model (C), and Cumulative distribution of original and fitted values of dependent variable (D). .....	106
Fig. 23	Distribution of trip distances in sample (n=1,421) and IeeA dataset (n=9,821). .....	110
Fig. 24	Cumulative probability distributions for travel time difference between cargo cycles and cars for the trips collected from the IeeA database. ....	110
Fig. 25	Travel time difference between cargo cycle and car versus trip distance for two-wheeled cargo cycles with ‘Pedelec-25’ electric assist. ....	111
Fig. 26	Cumulative probability distributions for travel time differences between cargo cycles and cars. ....	112
Fig. 27	Zuordnung der 23 abgefragten Treiber und Hemmnisse (inklusive Item-Codes) zu den sieben Hauptfaktoren F1 bis F7 und mittlere „factor scores“ (leicht verändert nach Fig. 19) .....	120

## Abkürzungsverzeichnis

BMU, BMUB	Bundesumweltministerium
BMVI	Bundesverkehrsministerium
Bsp., z.B., bspw.	Beispiel, zum Beispiel, beispielsweise
bzw.	beziehungsweise
DLR	Deutsches Zentrum für Luft- und Raumfahrt
E-	Elektrifiziert (etwa E-Lastenrad)
ebd.	ebenda
E-CB	Electric Cargo Bikes = E-Lastenräder (nur in Fachartikel A-1)
Fig.	Abbildung
ggf.	gegebenenfalls
i. w. S.	im weiteren Sinne
IeeA	DLR-Projekt "Ich ersetze ein Auto"
Kap.	Kapitel
KEP	Kurier-, Express-, Paketdienstleistung
Kfz	Kraftfahrzeug
KiD (2010)	Studie "Kraftfahrzeugverkehr in Deutschland 2010"
km	Kilometer
KU	Kleinunternehmen
l	Liter
Lkw	Lastkraftwagen
mi	mile / Meile (1,609 km)
min	Minute
p.a.	per annum, jährlich
Pkw	Personenkraftwagen
SEV	Small electric vehicle / Kleinelektrofahrzeug
sog	sogenannt
StVO	Straßenverkehrsordnung
StVZO	Straßenverkehrs-Zulassungs-Ordnung
Tab.	Tabelle
tkm	Tonnenkilometer
vgl.	vergleiche
vs.	versus
WIV	Wirtschaftsverkehr

## Widmung und Danksagung

*Gewidmet Achim Beier (1961-2019), dessen unternehmerisches Geschick und menschliche Wärme entscheidend zum Erfolg dieser Sparringspartnerschaft aus Forschung und Praxis beigetragen hat.*

Auf dem Weg dieser Dissertation genoss ich das Vertrauen und die Unterstützung zahlreicher Menschen, denen ich dafür von Herzen danken möchte.

Allen voran danke ich meiner Betreuerin, Direktorin und Koautorin Barbara Lenz für ihren initialen Impuls zur Erforschung der gewerblichen Fahrradnutzung.

Sehr verbunden bin ich meinen Koautor\*innen Alexander Kihm, Viktoriya Kolarova, Santhanakrishnan Narayanan, Christian Rudolph und Lars Thoma für den interdisziplinären Austausch und die fruchtbare Zusammenarbeit.

Meinem Vorgesetzten Gernot Liedtke danke ich sehr für Beratung und Geduld. Dankbar bin ich auch Christian Rudolph und Gunnar Knitschky sowie allen Unterstützer\*innen in den Projekten, besonders auch den zahlreichen Studierenden, von denen einige in ihren Abschlussarbeiten ebenfalls auf das Lastenrad geblickt haben.

Danken möchte ich auch den Praktikern Arne Behrensen und Dirk Brauer, deren Erfahrungsschatz rund ums Lastenrad mich weiter gebracht hat.

Sehr dankbar bin ich meinem Freund und Koautor Alex Kihm für die vielen Diskussionsrunden und den dabei gewonnenen Erkenntnissen.

Der größte Dank gebührt Varina und Jona, meiner liebenden Familie, die mich immer wieder motiviert hat und ohne deren Bereitschaft zum Verzicht diese Arbeit niemals fertig geworden wäre.

# 1 Motivation

In Deutschland wird etwa jede dritte Kfz-Fahrt dem Wirtschaftsverkehr zugeordnet, mit noch weitaus höheren Anteilen in den Innenstädten. Ausgelöst durch Treiber wie den wachsenden Onlinehandel stieg in den letzten Jahren die Menge an KEP-Sendungen (Kurier, Express, Paket) auf zuletzt 3,7 Mrd. Sendungen jährlich an. Neben dem Wachstum in klassischen Märkten wie der Paketzustellung sind eine Diversifizierung von Zustellkonzepten (etwa Zeitfensterzustellung) sowie eine Verkleinerung der Sendungsgrößen zu beobachten. Neben dem Güterwirtschaftsverkehr generiert der Personenwirtschaftsverkehr (z.B. von Handwerkern) ein ähnlich hohes Fahrtenaufkommen.

Mit dem Wirtschaftsverkehrswachstum steigen auch negative Externalitäten wie die Emissionen von Lärm, Luftschadstoffen und Treibhausgasen sowie Stau und Flächenverbrauch, es kommt zu einer Verminderung von Verkehrssicherheit und urbaner Aufenthaltsqualität. Demgegenüber steht ein wachsender gesellschaftlicher Wunsch und auch politischer Druck, die Umweltbelastungen durch den Verkehrssektor zu verringern. Politik und Wirtschaft sind daher verstärkt auf der Suche nach geeigneten und umsetzbaren Konzepten für einen stadtverträglichen Wirtschaftsverkehr.

Eine Grundstrategie zur Bewältigung der genannten Herausforderung stellt die Verlagerung auf emissionsarme Fahrzeuge im weiteren Sinne dar. Die vorliegende Arbeit widmet sich einem konkreten Baustein dieser Strategie, dem Fahrzeugkonzept „E-Lastenrad“. Gewerbliche Lastenradnutzung kann damit als echter Versuch wahrgenommen werden, bisherige Systeme aufzulösen, d.h. konventionelle Lieferfahrzeuge zum Teil zu ersetzen, insbesondere in urbanen Räumen mit hoher Verkehrsbelastung.

Seit rund einem Jahrzehnt lässt sich der Markteintritt von E-Lastenrädern bzw. die Re-Innovation von Lastenrädern beobachten. Das Fahrzeugkonzept wird weiterhin nur für einen Bruchteil des Wirtschaftsverkehrs eingesetzt, weist aber hinsichtlich des Absatzes hohe Wachstumsraten auf. Zeitgleich findet eine graduelle Professionalisierung der Branche statt, etwa durch Normung (DIN 2020), Standards zur Arbeitssicherheit (DGUV 2019) und Interessensvertretung (Gründung von Radlogistik-Verbänden). Der politische Wille zur Förderung gewerblicher Lastenradnutzung zeigt sich an Programmen wie z.B. Kaufanreizen und indirekt an Beschlüssen, die die Benutzungsvorteile von Lastenrädern stärken bzw. konventionelle Fahrzeuge strikter regulieren.

Während Wirtschaft und Politik dieses Fahrzeugkonzept zunehmend beachten, bestehen auf wissenschaftlicher Ebene noch erhebliche Erkenntnislücken hinsichtlich seiner Nutzung und seinen Einsatzpotenzialen im städtischen Wirtschaftsverkehr im Vergleich zu konventionellen Fahrzeugen. Nutzungsdeterminanten zu kennen, wird dazu beitragen, hemmende oder gar „Show-Stopper“-Faktoren der weiteren Verbreitung von E-Lastenrädern auszuräumen.

Ziel dieser Arbeit ist daher eine ganzheitliche Betrachtung der Machbarkeit der gewerblichen Nutzung des Fahrzeugkonzepts E-Lastenrad, welche konzeptionelle, verkehrliche und wirtschaftliche Aspekte verknüpft und auf den ersten Nutzungsansätzen basiert, die der verkehrsgeographischen Analyse zugänglich sind (etwa bei Kurierdiensten oder Teilnehmern eines bundesweiten Testprogramms).



## 2 Forschungsstand

Die Darstellung des Forschungsstandes gliedert sich wie folgt in vier Unterkapitel:

Das erste Unterkapitel 2.1 beschreibt, was Wirtschaftsverkehr ist (2.1.1), welchen für diese Arbeit relevanten Dynamiken er in jüngerer Zeit unterliegt (2.1.2) und welche Herausforderungen er im urbanen Raum mit sich bringt (2.1.3). Aus der großen Bandbreite an Lösungsmöglichkeiten, die kursorisch gestreift werden (2.1.4), wird die Nutzung von Lastenrädern als ein spezifischer Ansatz für eine nachhaltige Verkehrsverlagerung vorgestellt (2.1.5).

Unterkapitel 2.2 widmet sich diesem Fahrzeugkonzept selbst. Nach einem geschichtlichen Abriss zum Lastenrad (2.2.1) folgen Darstellungen der aktuellen rechtlichen Rahmenbedingungen (2.2.2) sowie der in der Praxis üblichen Bauformen und Varianten (2.2.3).

Unterkapitel 2.3 führt die beobachtbaren Nutzungsansätze auf, die sich in unterschiedlicher Form typologisieren lassen (2.3.1). Neben ersten Initiativen von Großunternehmen der Logistikbranche (2.3.2) ermöglichen öffentliche Testprogramme ein recht breites Einsatzspektrum (2.3.3). Abschließend wird die aktuelle Nutzung von Lastenrädern anhand von verfügbaren Statistiken approximiert (2.3.4).

Das letzte Unterkapitel 2.4 strukturiert Dimensionen einer ganzheitlichen Bewertung von Lastenrädern im Wirtschaftsverkehr: Vor- und Nachteile des Fahrzeugkonzepts gegenüber konventionellen Lieferfahrzeugen (2.4.1), Verlagerungspotenzial (2.4.2), verkehrliche Eignung (2.4.3) sowie Wirtschaftlichkeit (2.4.4). Ansätze einer integrierten Betrachtung der vorangegangenen Dimensionen helfen bei der Einschätzung des bisherigen Markterfolgs (2.4.5).

### 2.1 Einschlägige Entwicklungen im städtischen Wirtschaftsverkehr

#### 2.1.1 Begriffsbestimmungen und Charakteristika

Diese Arbeit thematisiert die gewerbliche Nutzung von elektrifizierten Lastenrädern (E-Lastenrädern) im städtischen Wirtschaftsverkehr. „Wirtschaftsverkehr umfasst alle Verkehre zur Beförderung von Gütern und zur Erbringung von Dienstleistungen, die in Ausübung des Berufs erfolgen“ (Nuhn & Hesse 2006:187, nach Hesse 1998). Dies macht in Deutschland etwa jede dritte Kfz-Fahrt aus (Menge & Horn 2014). Nach Arndt (2010) kann der Wirtschaftsverkehr unterteilt werden in Güterwirtschaftsverkehr (bei dem der Transport von Gütern im Vordergrund steht, also bspw. Kuriertransporte), Dienstleistungsverkehr (Transport von Personen und Gütern wie Arbeits- und Verbrauchsmaterial, also bspw. Handwerkerfahrten) und Personenwirtschaftsverkehr (hier steht der Transport der Person im Vordergrund, also bspw. im Bereich der häuslichen Pflege). Die beiden letztgenannten Kategorien werden mitunter auch kollektiv Personenwirtschaftsverkehr genannt. Güterwirtschaftsverkehr wird häufig und auch in dieser Arbeit vereinfachend Güterverkehr oder Lieferverkehr genannt. Die „letzte Meile“ bezeichnet im Güterverkehrskontext das letzte Wegstück einer Sendung, etwa vom letzten Umschlagpunkt zum Empfänger. Innovationsbestrebungen von Unternehmen und politische Lenkung konzentrieren sich häufig auf die letzte Meile, da sie der teuerste und emissionsreichste Teil der logistischen Kette ist (Gevaers et al. 2011, Thaller et al. 2017).

Allgemeine Kennzeichen des städtischen Wirtschaftsverkehrs sind ein hohes Fahrtaufkommen, kurze Distanzen, viele Start-/Stoppvorgänge, ein hoher Anteil an Leerfahrten und ein hoher Anteil an Direktfahrten. Lieferverkehr wird zu ca. 75 % von Pkw oder leichten Nutzfahrzeugen unter 3,5 t durchgeführt (vgl. Arndt et al. 2015), diese Nutzfahrzeugklasse umfasst entsprechend drei Viertel der in Deutschland zugelassenen Lkw und Sattelzugmaschinen (Adolf et al. 2017).

Aussagen zum Wirtschaftsverkehr sind aufgrund der schlechten Datenlage mit Unsicherheiten verbunden (Leerkamp 2018). Innerhalb des Güterwirtschaftsverkehrs dürfte durch das starke Wachstum der Paketsendungen die KEP-Branche (Kurier-, Express-, Paketdienste) aktuell den höchsten Fahrtenanteil verursachen. Eine Schätzung aus 2010 weist KEP einen Anteil von 38 % an den Lkw-Fahrten im städtischen Wirtschaftsverkehr zu. Dem gegenüber stehen Anteile von 18 % zur Belieferung des Handels, 15 % für Spedition/Stückgut und 14 % für Bau/Handwerk (Sonntag 2015). Die KEP-Teilmärkte wiederum teilen sich quantitativ in ca. 82 % Paket-, 10 % Express- sowie 8 % Kurier-Sendungen (Manner-Romberg & Müller-Steinfahrt 2017), wobei sich diese Bereiche in der Praxis wegen Überlappungen und mangels rechtlicher Definition nicht trennscharf segmentieren lassen (Ninnemann et al. 2017). Wichtig an dieser Stelle ist, dass Kuriersendungen vorwiegend zeitkritisch sind und als Direktfahrten durchgeführt werden und dass die Paketdienstleistung als Massenmarkt hoch standardisiert ist und über Sammeltransporte (Vorlauf und Nachlauf), Umschläge in regionalen Verteilzentren und gebündelten Transport (Hauptlauf) organisiert ist (weitergehend siehe BIEK (2019), Thaller et al. (2017) und Manner-Romberg et al. (2009), mit Fokus auf das Kuriersegment Glaser (2000)).

### **2.1.2 Rahmenbedingungen und Dynamiken**

Wirtschaftsverkehr wird überwiegend auf der Straße abgewickelt. Die Dominanz dieses Verkehrsträgers ist „umso stärker, je geringer die Lagerbestände, je kleinteiliger die Sendungen und je kürzer die Lieferzyklen sind“ (Nuhn & Hesse 2006:29). Dieser Zusammenhang, welcher sich bei ebd. auf überregionale Transporte und die Verkehrsträgerkonkurrenz Straße vs. Schiene vs. Wasserstraße bezieht, gilt auch innerhalb des städtischen Güterverkehrs. Dort sind in Folge der heterogenen urbanen Nachfragsituation und der Diversifizierung von Zustellkonzepten die Sendungen noch kleinteiliger und die Lieferzyklen noch kürzer (Prümm et al. 2017). Folge könnte eine vermehrte Konkurrenz innerhalb des Verkehrsträgers Straße sein, also eine Konkurrenz verschiedener Fahrzeugkonzepte. Fundierte Aussagen zu dieser Konkurrenz fehlen bislang, also bspw. zur Eignung von kleinen elektrifizierten Fahrzeugklassen (auch „SEV“, small electric vehicles) wie etwa dem E-Lastenrad im Vergleich zu herkömmlichen Lieferfahrzeugen.

Der E-Commerce zeigt seit Jahren hohe Wachstumsraten, nicht zuletzt wegen der Erschließung neuer Waren- und Gütergruppen (WEF 2020). Hybride Handelsangebote verknüpfen Einzelhandels- und Logistikfunktion bzw. Privat- und Wirtschaftsverkehr. Der Onlinehandel ist ein wesentlicher Treiber für das Paketwachstum, da die Güterverkehrsnachfrage als abgeleitete Nachfrage den wirtschaftlichen Aktivitäten (hier: dem Einzelhandel) folgt. In den letzten 15 Jahren hat sich die Paketmenge in Deutschland verdoppelt, 2019 betrug sie rund 3,7 Milliarden Pakete (BIEK 2020), wobei auf jeden Einwohner rund eine Lieferung alle zehn Tage entfällt (McKinsey&Company 2019). Die Städte weisen dabei eine überproportionale Anzahl an Sendungen je Einwohner auf: Beispielsweise werden

für das Jahr 2016 für München 61 Pakete je Einwohner und für Bayern 42 Pakete je Einwohner ausgewiesen (BIEK 2018). Auch zukünftig wird ein weiteres Anwachsen des Volumens an KEP-Sendungen erwartet. Der im Jahr 2017 bei 10 % liegende Anteil des Onlinehandels an allen Einzelhandelsumsätzen wird sich Absätzungen zufolge bis 2024 auf 15 % erhöhen (IBI 2019). Die Paketbranche rechnete 2019 (vor der Corona-Pandemie) für die vier Jahre bis 2023 mit einem jährlichem Wachstum des Sendungsaufkommens von 4,7 % (BIEK 2019). Diese Prognose wird seitens der Branche auch Mitte 2020 nur moderat abgeschwächt und mit 3,6 bis 4,2 % p.a. für den Vierjahreszeitraum von 2020 bis 2024 ausgewiesen (BIEK 2020).

Mit der oben genannten Diversifizierung von Zustellkonzepten sind weniger Alternativen des Zustellorts (z.B. Paketstationen) gemeint, sondern das zunehmende Angebot von Same-Day-Delivery oder Speed-Delivery, d.h. kleinere Zeitfenster für die Zustellung. Damit verbunden ist eine Reurbanisierung von Logistikflächen: Händler wie Amazon beziehen urbane Hubs und greifen prägender in die Transportorganisation ein, um Zeitfensterzustellung in den Kerngebieten der größten deutschen Städte anbieten zu können (siehe auch weiter unten in Kap. 2.3.2 zu den Initiativen der Logistikbranche). Die bei der Zeitfensterzustellung typischerweise kurzen Gesamttourenlängen kommen „kleinen Fahrzeugkonzepten“ natürlicherweise entgegen.

Die Anforderungen privater Empfänger sind hinsichtlich schneller und bequemer Zustellung hoch, gleichzeitig fehlt aber häufig die Bereitschaft zur Zahlung von Versandpreisen beim Onlinehandel. Gerade die KEP-Branche ist folglich von einer hohen Wettbewerbsintensität geprägt (Purkarthofer 2018).

Steigende Sendungsmengen, die Diversifizierung der Zustelloptionen und höhere Anforderungen hinsichtlich Zustellzeit führen folgerichtig zu einem Wachstum an Fahrten und logistischer Komplexität sowie zu einer Verkleinerung der Sendungsgrößen (Arndt 2015, Schönberg et al. 2018). Aus diesen Dynamiken lässt sich zumindest prinzipiell eine Eignung bzw. Option der Integration kleinerer Fahrzeugkonzepte für leichte und zeitkritische Sendungen ableiten (vgl. Bogdanski 2019). Eine Verlagerung kompletter Pakettouren mit 140 – 150 Zustellungen je Tour erscheint in Anbetracht der unterschiedlichen Fahrzeuggröße allerdings unwahrscheinlich; in einer Veröffentlichung des Branchenverbands BIEK werden Lastenräder als „für die konventionellen Zustellformen ungeeignet“ bezeichnet (BIEK 2015).

Wenngleich die KEP-Branche in hohem Maße den Blick auf städtischen Wirtschaftsverkehr prägt, sollten dennoch die weniger beachteten Arten gewerblicher Verkehre nicht außer Acht gelassen werden. So könnten z.B. Handwerkerfahrten und andere disperse Transportbewegungen eine höhere Eignung für kleine Fahrzeugkonzepte aufweisen, da die Optimierung des Transports nicht das Hauptgeschäft für diese Betriebe oder öffentlichen Einrichtungen darstellt. Laut Arndt (2018) weisen Personenwirtschafts- und Dienstleistungsverkehr mittlerweile sogar einen Fahrtenanteil von mehr als der Hälfte des Wirtschaftsverkehrs auf, was mit Blick auf die steigenden Paketmengen bemerkenswert erscheint.

Es ist fraglich, ob die beschriebenen Dynamiken der Wirtschaftsverkehrsnachfrage auch von einer Veränderung der genutzten Antriebe und Fahrzeugkonzepte begleitet werden. Hilfreich ist in diesem

Zusammenhang das in Fig. 1 dargestellte Modell der „Motorentransition“ (Dabanc & Rodrigue 2017:46). Dieses weist die Fahrtenanteile verschiedener Motorisierungsarten im städtischen Güterverkehr aus und bildet längerfristige Transformationsprozesse ab. Der Wandel von informellen logistischen Strukturen (Stufe I) zur motorisierten und zunehmend automobilabhängigen Stadt (Stufen II und III) verursacht enorme Veränderungen. Einige Aspekte davon sind positiver Natur (Güterverkehr wird effizienter, der Service für Bewohner besser), gleichzeitig ist aber ein äußerst hoher Anstieg von Emissionen und Energieverbrauch zu verzeichnen. Die Autoren konzeptionieren anschließend als Zielvorstellung einen Wandel hin zur grünen Logistik (Stufe IV) mit einem zunehmenden und perspektivisch dominierenden Modal-Split-Anteil von alternativen Modi oder Kraftstoffen (z.B. Lastenrädern, Erdgas- oder E-Fahrzeugen). In einigen strategischen Verkehrskonzepten weltweit finden sich Zielvorstellungen mit der Perspektive einer Erreichung dieser Stufe. Hinsichtlich der Implementierung gibt es (nur) erste Ansätze: London führt zunehmend restriktivere Niedrig- oder Null-Emissions-Zonen ein, zu nennen sind hier auch Fahrverbote für Dieselfahrzeuge, die seit 2018 in mehreren deutschen Städten erlassen wurden (eine Übersicht zeigt BdKEP 2020) oder die Herabsetzung der CO<sub>2</sub>-Flottengrenzwerte).

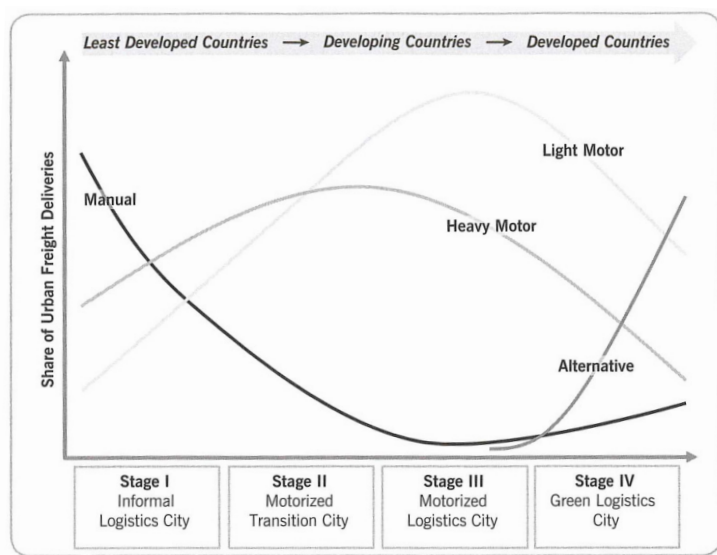


Fig. 1 Modell der Motorentransition (Dabanc & Rodrigue 2017:46)

### 2.1.3 Status quo und Herausforderungen

Der dargestellten Dynamik im städtischen Wirtschaftsverkehr steht auf Fahrzeugebene in Deutschland derzeit kaum nennenswerte Veränderung gegenüber: Weiterhin wird die letzte Meile von leichten Nutzfahrzeugen mit Dieselantrieb dominiert (entsprechend Stufe II / III der Motorentransition). Diesel ist eine substanzielle Quelle für Feinstaub, Ruß und NO<sub>x</sub>-Emissionen, die daraus entstehenden negativen Umweltfolgen sind im städtischen Raum überproportional. Gründe hierfür sind die niedrigen Geschwindigkeiten, häufigen Haltevorgänge und Standzeiten, das tendenziell höhere Fahrzeugalter und die aufgrund der kleinteiligeren Sendungsstruktur höheren Fahrleistung je Frachteinheit (Dabanc & Rodrigue 2017, Arndt et al. 2015).

Während die Verkehrsleistung (in Tonnenkilometern) im sogenannten Nahbereich bis 50 km in Deutschland seit Jahren konstant bleibt, wächst das Fahrtaufkommen, welches zu 60 % im städtischen Bereich stattfindet, stetig (Arndt 2018). Jene Fahrten im Bereich bis 50 km sind dabei immer weniger ausgelastet und der Anteil an Leerkilometern steigt (ca. 45 % der Gesamtfahrleistung), was Arndt (2018:6) als kennzeichnend für das logistische Problem der letzten Meile sieht.

Das häufige Parken von Lieferfahrzeugen in zweiter Reihe löst eine Reihe weiterer Probleme aus: Störung des Verkehrsflusses, Behinderung von Radfahrern und Fußgängern, Beeinträchtigung der Verkehrssicherheit und das Risiko schwerer Unfälle unter Beteiligung von großen Fahrzeugen. Ausweichverkehre oder Abkürzungen führen zu hohen Lärm- und Luftschadstoffemissionen in Wohngebieten (Bracher et al. 2018). Gerade die konventionelle Paketzustellung birgt deutliche negative externe Effekte für alle Stadtbewohner (Bogdanski 2019).

Zu den räumlichen Implikationen zählen der hohe Flächenbedarf, die Verdrängung anderer Nutzungen, die Trennwirkung gegenüber Fußgängern und Radfahrern, die schädlichen Auswirkungen auf Sichtachsen, Grün, Ästhetik und Aufenthaltsqualität (Bracher et al. 2018). Ursachen und Folgen sind bei der Betrachtung von Dynamiken im Verkehrswesen interdependent: Die hohe räumliche Dichte von Menschen, wirtschaftlichen Aktivitäten und die Intensität der Transportnachfrage (begründet durch die Ansprüche an die Güterverfügbarkeit) können gleichermaßen als Kennzeichen urbaner Vitalität als auch als Verursacher der genannten Probleme und Externalitäten ausgemacht werden. Es besteht ein Zielkonflikt zwischen Ökonomie und Ökologie. Hesse (2018) sieht den Verkehr – anders als den Energiesektor – als „harte Nuss: de facto Abbild *und* Treiber eines Amalgams aus gesellschaftlichem, wirtschaftlichem und technologischem Wandel“. Auch Douglas (2015) beschreibt in den wachsenden Anforderungen an den städtischen Wirtschaftsverkehr hinsichtlich Zuverlässigkeit und Schnelligkeit und den dadurch verursachten negativen Folgen für die städtische Lebensqualität einen Widerspruch, der derzeit nicht vollständig aufzulösen sei.

Zweierlei Herausforderungen stehen dabei laut Douglas (2015:13) im Vordergrund:

- die Ableitung lokalspezifischer Konzepte, die die Stadtverträglichkeit des Wirtschaftsverkehrs erhöhen, sowie
- die Verbesserung der Datengrundlage zu Fahrzeugeinsätzen und den tatsächlichen Logistikprozessen im städtischen Wirtschaftsverkehr.

#### **2.1.4 Allgemeine Lösungsansätze im städtischen Wirtschaftsverkehr**

Es existieren zahlreiche Lösungsansätze zur nachhaltigeren Gestaltung des städtischen Wirtschaftsverkehrs. Verkehrsvermeidung, Verlagerung und Verringerung der Transportschädlichkeit (auch: Optimierung) gelten bereits seit Mitte der 1980er Jahre als die drei Grundstrategien für nachhaltige Mobilität allgemein (Hesse 1993, Kagermeier 1997, Juchelka 2011, Deckert 2016, BMU 2003), die sich sinnhafterweise auch spezifisch auf den Wirtschaftsverkehr anwenden lassen.

In einem ausführlichen Planungsleitfaden für die USA listen Holguín-Veras et al. (2014) eine breite Palette von angebotsseitigen Maßnahmen (etwa Infrastrukturmanagement) bis zur Nachfragesteuerung (etwa empfangergelebene Konsolidierungsprogramme) auf, darunter auch den „Mode Shift“ (Wechsel von Modus bzw. Fahrzeugklasse). Eine ähnliche Maßnahmenammlung haben auch

Giuliano et al. (2013) vorgelegt. In seiner Dissertation stellt Quak (2008) weltweit mehr als 100 konkrete Nachhaltigkeitsinitiativen im städtischen Wirtschaftsverkehr vor und kategorisiert diese.

Dablan & Rodrigue (2017) nennen zusammenfassend drei Handlungsfelder, die sich auf die Art des Lieferns, die Infrastruktur und den Modus beziehen:

- Optimierung der Lieferungen (z.B. höhere Fahrzeugauslastung, Nachtzustellungen);
- besser an die urbanen Bedürfnisse angepasste logistische Infrastrukturen (z.B. Mikrokonsolidierungszentren);
- Alternative Fahrzeuge und „Modal Shift“: Kleine Fahrzeuge eignen sich wegen ihrer Wendigkeit und der Kleinteiligkeit der Lieferungen tendenziell besser für urbane Einsätze; Lastenräder gelten als ein Beispiel für eine erfolgreiche Implementierung.

Eine Maßnahmenliste mit Konzepten für deutsche Kommunen legen Arndt et al. (2015) vor, darunter:

- Emissionsarme Lieferfahrzeuge (wie z.B. Lastenräder);
- Routenführung;
- Anlieger-Kooperationen;
- Wirtschaftsverkehrs-Plattformen;
- Lieferantenkooperationen/City-Logistik und
- Gebiets-Konzessionen.

Auf noch konkreterer Ebene ist ein Beispiel für eine „neue Generation quartiersbezogener Stadtlogistikkonzepte“ das von der Stadt Basel in Auftrag gegebene Güterverkehrskonzept (Holthaus et al. 2018:94, vgl. auch Wittenbrink et al. 2016). Dieses besteht aus einem umfangreichen Maßnahmenkatalog mit insgesamt 38 Handlungsoptionen in sieben Handlungsfeldern.

### **2.1.5 Spezifische Maßnahme: Ausbau der gewerblichen Lastenradnutzung**

Ein wiederkehrendes Element der vorgestellten Maßnahmenlisten ist der Wechsel auf Lastenräder im städtischen Wirtschaftsverkehr als eine praktische Umsetzung der Grundstrategie „Verkehrsverlagerung“. Im weiteren Verlauf dieses Kapitels werden die Argumentation zugunsten der Förderung gewerblicher Lastenradnutzung, die Einbettung in bereits identifizierte Maßnahmenpakete sowie aktuell diskutierte Förderoptionen dargestellt.

#### *2.1.5.1 Argumentationen für eine Förderung gewerblicher Lastenradnutzung*

Als lokales emissionsfreies Fahrzeugkonzept können (E-)Lastenräder – wenn auch ggf. räumlich begrenzt in den Stadtzentren – eine Lösung des Zielkonflikts Ökonomie vs. Ökologie darstellen. Die Stadtzentren scheinen „aufgrund ihrer Raumknappheit am ehesten dazu geeignet, dass Unternehmen und ihre Kunden Kompromisse zwischen dem Ziel der Erreichbarkeit und dem Ziel der Stadtqualität i. w. S. eingehen. Ein Beispiel hierfür gibt die Auslieferung von Paketen und kleinteiligen Sendungen mit Lastenfahrrädern oder Elektrofahrzeugen“ (Nuhn & Hesse 2006:200).

Lastenräder treten in Konkurrenz zu Pkw und Lkw und sind daher ein echter Versuch, das bisherige System aufzulösen bzw. einen Systemwandel voranzutreiben. Menge & Horn (2014:14 f.) stellen fest, „dass das Fahrrad ein Ansatz für einen wirklich grünen Güterverkehr ist und damit auch ein wichtiger Bestandteil ‚grüner Logistikkonzepte‘ sein kann“.

Insbesondere die öffentliche Hand spart Kosten und Platz, da die Infrastrukturkosten beim Radverkehr je Personenkilometer „deutlich niedriger sind als für den motorisierten Verkehr“ (Bracher et al. 2018:10) und zudem weniger Parkfläche benötigt wird. Dies gilt in ähnlichem Maße für Lastenräder, wenngleich eine größere Fläche zum Abstellen als für Fahrräder benötigt wird. In einer Broschüre des österreichischen Verkehrsministeriums wurde der Stellflächenbedarf in verschiedenen Abstellvarianten aufgezeigt (BMVIT 2012). Hierbei werden für Lastenräder zwischen 2,0 und 3,1 m<sup>2</sup> Fläche und für Fahrräder zwischen 1,2 und 2,5 m<sup>2</sup> benötigt. Zum Vergleich: Die Flächeninanspruchnahme für parkende Pkw wird bspw. mit 12,5 m<sup>2</sup> (Baum & Pesch 1996) oder 13,5 m<sup>2</sup> (Randelhoff 2014) ausgewiesen. Es ergibt sich also ungefähr der Faktor von 4 – 6 Lastenrädern je Pkw-Stellplatz. Während die Errichtung von spezifischen Lastenradstellplätzen seitens Menge & Horn (2014) als nicht notwendig erachtet wird, wurde diese Möglichkeit im Rahmen der StVO-Novelle<sup>1</sup> im April 2020 (BMVI 2020) mit einem neuen Verkehrszeichen zumindest offiziell ermöglicht (siehe Fig. 2).



Fig. 2 Das „Sinnbild Lastenfahrrad“ ist ein neues Verkehrszeichen der StVO-Novelle von 2020<sup>2</sup>

Aus dem Blickwinkel der Radverkehrsförderung wird die gewerbliche Fahrradnutzung im Gegensatz zur privaten kaum betrachtet. Allerdings kann „auch der Wirtschaftsverkehr [...] dazu beitragen, dass das Fahrrad seinen Beitrag zu gesamtwirtschaftlichen Zielen im Bereich Klimaschutz und Energie, Umweltschutz, Gesundheit, Demografie und Stadtentwicklung erfüllt“ (Bracher et al. 2018:10).

Bogdanski (2019) transferiert fünf Prinzipien zur Nutzung von Ressourcen in Wertschöpfungsprozessen auf die Erreichung des Zieles einer nachhaltigen Stadtlogistik. Als erfolgreichen Weg leitet er daraus eine Kombination des Substitutionsprinzips (in Form der Elektrifizierung von konventionellen Fahrzeugkonzepten) und des Konsistenzprinzips (d.h. Einsatz von Lastenrädern und Sackkarren als minimalinvasive Transportlösung) ab.

Im Güterverkehrskonzept für die Stadt Basel (Wittenbrink et al. 2016) wurden die insgesamt 38 Handlungsoptionen hinsichtlich verkehrlicher, ökologischer und ökonomischer Parameter bewertet, wobei sowohl die Wirtschaftlichkeit für die beteiligten Unternehmen als auch die Kosten für die Kommune berücksichtigt wurden. Die 16 am höchsten bewerteten Maßnahmen (darunter auch die Lastenradförderung) wurden in einem weiteren Schritt hinsichtlich Umsetzbarkeit untersucht. Sowohl

---

<sup>1</sup> Kurz vor Fertigstellung der Dissertation wurde bekannt, dass Teile der StVO-Novelle von April 2020 aufgrund eines Formfehlers unwirksam sind, darunter Änderungen des Bußgeldkatalogs. Diese Tatsache kann in der vorliegenden Arbeit nicht mehr berücksichtigt werden. Daher wird davon ausgegangen, dass zukünftig eine der StVO-Novelle entsprechende neue Regelung getroffen wird.

<sup>2</sup> Bildquelle: BAST (2020)

bei Wirkung als auch Umsetzbarkeit wurde die Ausweitung des Lastenradeinsatzes im mittleren Wertebereich verortet. In Summe wird diese Maßnahme seitens der Gutachter dennoch befürwortet und als eine von acht Hauptmaßnahmen für das Güterverkehrskonzept vorgeschlagen (ebd.:118). Während die Umsetzung von Geschäftsmodellen der Lastenradlogistik Aufgabe der Transportdienstleister sei, wird die Kommune angehalten, bestehende Hemmnisse bei der Umsetzung zu „analysieren und ggf. zu neutralisieren“ (ebd.:134).

#### *2.1.5.2 Einbettung in bereits identifizierte Maßnahmenpakete*

Es erscheint zweifelsohne unrealistisch anzunehmen, dass eine einzelne Maßnahme wie die Verlagerung auf Lastenräder alleine zur Lösung der Herausforderungen des städtischen Wirtschaftsverkehrs ausreichen könnte. Sinnvoll ist daher die Verflechtung mit anderen, bereits als wirksam identifizierten Maßnahmen oder Politikfeldern.

Laut Bracher et al. (2018) entspricht die Verbindung von Wirtschaftsförderung und Fahrradpolitik dem Zeitgeist und passt zur New Economy. Ein Beispiel ist die Förderung von Start-ups im Bereich der Lastenradlogistik durch erleichterte Sondernutzungsgenehmigungen.

Arndt (2015:24) verweist u.a. auf die Nutzung von Lastenrädern im Rahmen von (anbieteroffenen) Mikrodepotkonzepten: „Lastenräder stellen eine Maßnahme vor allem für die Entlastung von Problemzonen dar. Ihre stärkere Verbreitung sollte flankiert werden durch das Setzen von Standards für Lastenräder sowie durch Anpassungen in der Verkehrsinfrastruktur und der logistischen Konzepte.“

Ähnlich sehen dies die Verfasser des Güterverkehrskonzepts Basel. Als katalytisch für die Lastenradnutzung werden Maßnahmen zur Schaffung von Mikrodepots sowie zur Sicherung von stadtnahen Logistikflächen genannt (Wittenbrink et al. 2016:134), beides könne die Wirtschaftlichkeit von Lastenrädern entscheidend verbessern.

#### *2.1.5.3 Aktuell diskutierte Förderoptionen*

In der Tat findet bereits ein Diskurs zur Lastenradförderung statt. Wrighton et al. (2017:29) nennen hierfür vier Strategien: Finanzielle Unterstützung (Förderprogramme), Bewusstseins-schaffung und Kampagnen für Einwohner und lokale Akteure, die Bereitstellung guter Fahrradinfrastruktur und die Beauftragung von Lastenradlogistikern für kommunale Wirtschaftsverkehre.

Bracher et al. (2018:14) empfehlen Städten zur Förderung der Lastenradnutzung die Schaffung von Benutzungsvorteilen beim Lieferparken und Möglichkeiten der Stauumfahrung, die Eingliederung von Lastenrädern in den kommunalen Fuhrpark, die Unterstützung innovativer Distributionskonzepte sowie die Beteiligung bei den Anschaffungskosten. Ferner fehlten bislang intelligente Lösungen, die Restriktionen für Fahrzeuge mit hohen Emissionen (etwa beschränkte Zufahrtsberechtigungen) durchsetzten.

Diverse Möglichkeiten der Förderung des Fahrrad-Wirtschaftsverkehrs durch Bund, Länder und Kommunen in Deutschland wurden innerhalb des vom Autor geleiteten Projekts WIV-RAD ausgearbeitet, im Folgenden in der Zusammenfassung von Gruber (2016:4 f.):



„Auf Ebene des Bundes dient der bundesrechtliche Ordnungsrahmen ebenso als Instrument wie die Förderung von Maßnahmen zur Verbesserung der Radverkehrsinfrastruktur an Bundesfernstraßen bzw. Bundeswasserstraßen, die Förderung innovativer Projekte und die Kommunikation von Empfehlungen zur Berücksichtigung der Belange des Fahrrad-Wirtschaftsverkehrs gegenüber den Ländern, den Kommunen und der Wirtschaft.

Die Bundesländer können ihre ordnungsrechtlichen Kompetenzen wie das Bauordnungsrecht nutzen, um bspw. Anforderungen an Abstellmöglichkeiten für Fahrräder zu formulieren. Ihre Handlungsoptionen erstrecken sich weiterhin auf die Radverkehrsinfrastruktur an Straßen in der Baulast der Länder. Ähnlich wie der Bund können mittels Förderprogrammen Projekte initiiert und über Netzwerke und Kommunikationskampagnen Informationen und Wissen zum Fahrrad-Wirtschaftsverkehr verbreitet werden.

Als zentrale Akteure für die Förderung der gewerblichen Fahrradnutzung sollten solche Kommunen auftreten, in denen der spezifische lokale Handlungsdruck hinsichtlich Emissionsreduktion und Verbesserung der (Wirtschafts-)Verkehrsverhältnisse hoch ist. Während die an Bund und Länder gerichteten Empfehlungen vor allem Rahmensetzungen betreffen, sind die Empfehlungen an die Kommunen vielfältiger und kleinteiliger. Sie betreffen vor allem den Alltagsbetrieb der Fahrräder und Lastenräder im Wirtschaftsverkehr:

- Fahrrad-Wirtschaftsverkehr in Pläne und Programme einbetten
- Den Ordnungsrahmen zur Förderung des Fahrrad-Wirtschaftsverkehrs nutzen
- Infrastruktur für die Anforderungen von Lastenrädern ertüchtigen
  - Für umwegfreie Verbindungen sorgen
  - Anforderungen des Wirtschaftsverkehrs berücksichtigen
  - Ruhenden Verkehr bedenken
  - Stellplatzverordnungen nutzen
- Distributionskonzepte mit Lastenrädern unterstützen
- Lokale Lastenrad-Netzwerke bilden
- Beraten und informieren
- Lastenrad-Verleihprogramme initiieren
- Fördermöglichkeiten prüfen
- Lastenräder im kommunalen Betrieb nutzen und bei der Vergabe von Transportaufträgen bedenken.“

Seit mehreren Jahren gibt es tatsächlich Förderprogramme auf verschiedenen politischen Ebenen. So fördert der Bund seit 2018 „Schwerlastenfahrräder“ (zu den Lastenradbauformen siehe Tab. 1) mit einem Transportvolumen von mindestens einem Kubikmeter mit 30 % des Anschaffungspreises bis zu 2.500 Euro. Weitere Programme gibt es auch auf Seiten der Länder und zahlreicher Kommunen. Zuletzt führt Behrens (2020) rund 60 Programme in Deutschland und Österreich auf.

## **2.2 Das elektrifizierte Lastenrad – ein neuartiges und altbekanntes Fahrzeugkonzept**

### **2.2.1 Geschichtlicher Abriss der gewerblichen Lastenradnutzung**

Auf eine ausführliche historische Betrachtung der Lastenradnutzung im Wirtschaftsverkehr wird an dieser Stelle verzichtet und vielmehr auf die Darstellungen von Ghebrezgiabihir & Poscher-Mika (2018) und Riehle (2012) verwiesen. Ein kurzer geschichtlicher Abriss ist aber lohnenswert, da er verdeutlicht, dass es sich bei Lastenrädern keinesfalls um eine neues Fahrzeugkonzept handelt und die Marktchancen von Lastenrädern keine geradlinige Entwicklung genommen haben.

Die Anfänge oder „erste Welle“ (Ghebrezgiabihir & Poscher-Mika 2018:37 ff.) gewerblicher Lastenradnutzung waren in Zentral- und Westeuropa Ende des 19. Jahrhunderts, etwa zur Postzustellung, der Auslieferung von Milch und Brot oder auch für Handwerkerdienstleistungen. Mit der Automobilisierung in der 2. Hälfte des 20. Jahrhunderts geriet das Lastenrad nahezu in Vergessenheit, eine kleinere zweite Welle der Verbreitung konnte in den 1970er und 1980er Jahren allenfalls unter Vertretern der Umweltbewegung und Bastlern beobachtet werden. Die Entwicklung zu Beginn des 21. Jahrhunderts beschreiben Wrigton et al. (2017) dann als Wiedergeburt des Lastenrads. Ghebrezgiabihir & Poscher-Mika (2018) sehen zwischen 2009 und 2015 den Beginn der dritten Welle, den von ihnen betitelten „Cargobike Boom“.

Zentraler Treiber für den erneuten Aufschwung dieses altbekannten Fahrzeugkonzepts – seine „Re-Innovation“, wie Fichter & Clausen (2013:34) „die Wiederentdeckung ‚vergessener‘ altbewährter Lösungen [...] und ihrer aktuellen und zeitgemäßen Adaption“ nennen – war die steigende Verfügbarkeit von bezahlbaren, leistungsstarken und flexiblen Batteriesystemen, welche wiederum durch die weltweit stark wachsenden Nachfrage nach E-Fahrzeugen befördert wurde (Thielmann et al. 2020). Eine der jüngsten Innovationen ist die Nutzung von Wasserstoff als Antriebstechnologie, so forscht bspw. das DLR an einer Brennstoffzelle für das Lastenrad (Schier et al. 2016).

### **2.2.2 Rechtliche Rahmenbedingungen**

Die Arbeit befasst sich mit der Nutzung von Lastenrädern im städtischen Wirtschaftsverkehr – als weitere Begriffe werden „gewerbliche Fahrradnutzung“ oder „Fahrrad-Wirtschaftsverkehr“ weitgehend synonym verwendet. Neben „Lastenrad“ sind in der Praxis auch die Begriffe „Lastenfahrrad“, „Transport(fahr)rad“ oder „Cargobike“ üblich.

Der in dieser Arbeit vorrangig verwendete Begriff „Lastenrad“ ist nicht gesetzlich definiert. Insofern sind Lastenräder Fahrrädern gleichgestellt, wenn sie die recht weit gefassten Anforderungen der Straßenverkehrs-Zulassungs-Ordnung (StVZO) für die Kategorie „Fahrrad“ erfüllen. Diese sind bspw. hinsichtlich der Abmessungen wie folgt: Die Breite darf bei einspurigen Fahrrädern bis 1,0 m, bei mehrspurigen Rädern bis 2,0 m betragen, die Länge bis 4,0 m und die Höhe bis 2,5 m. Fahrräder benötigen keine Betriebserlaubnis und es besteht keine Führerschein-, Kennzeichnungs-, Versicherungs- oder Helmpflicht. Weitere Ausführungen zu den rechtlichen Rahmenbedingungen finden sich im Schlussbericht des Projekts WIV-RAD (Gruber et al. 2016:67 ff.).

Auch die meisten Fahrräder mit E-Antrieb (sog. Pedelecs) gelten als Fahrräder, wenn der „elektromotorische[] Hilfsantrieb mit einer Nenndauerleistung von höchstens 0,25 kW ausgestattet“

ist und bei maximal 25 km/h oder ohne Tretbewegung des Fahrers unterbrochen wird (§ 1 Abs. 3 StVO). Stärkere motorisierte Fahrzeuge (etwa bis 45 km/h) sind dann keine Fahrräder mehr, sondern Kleinkrafträder, auch wenn hier häufig noch von (schnellen) E-Bikes oder S-Pedelecs gesprochen wird.

Für die vorliegende Fragestellung wird keine durchgängig exakte Eingrenzung des Fahrzeugtyps benötigt, überwiegend bezieht sich der in dieser Arbeit verwendete Begriff „Lastenrad“ aber auf bis 250 Watt elektromotorisch unterstützte Fahrräder (d.h. E-Lastenräder oder Lasten-Pedelecs) mit Vorrichtungen für einen Gütertransport von mindestens 25 Kilogramm.

### **2.2.3 Bauformen von Lastenrädern und ihre Charakterisierung**

Neben der rechtlichen Einordnung bzw. dem Grad der Elektrifizierung werden Lastenräder in der Praxis nach ihrer Bauform unterschieden. Eine Rolle bei der Differenzierung spielen hier u.a. die Anzahl der Räder und Spuren, die angestrebte Zuladung sowie die Positionierung des Transportguts vor oder hinter dem Fahrenden. Die im Rahmen des Projekts „Ich entlaste Städte“ erstellte Klassifizierung in fünf Lastenradbauformen (sowie Anhänger) wird in Tab. 1 dargestellt, ebenso wie Angaben zum Laderaumvolumen der im Projekt eingesetzten Modelle und gebräuchliche Nutzlasten basierend auf einer Studie von Schenk et al. (2017)<sup>3</sup>. Die Übersicht enthält auch eine Charakterisierung der Bauformen und typische Einsatzfelder (nach Behrens & Gruber 2017).







In der Praxis gibt es – nicht zuletzt infolge des Ideenreichtums von Bastlern – viele weitere Zwischenformen und individualisierte Lösungen. Ghebregiabiher & Poscher-Mika (2018) führen acht „Archetypen“ für einspurige und fünf für mehrspurige Lastenräder auf. Einspurige (zweirädrige) und mehrspurige (drei- oder vierrädrige) Lastenräder unterscheiden sich in ihrer Größe deutlich, was Auswirkungen auf operative Vor- und Nachteile bei ihrer Nutzung hat. Eine Gegenüberstellung wurde von Brost et al. (2019) erstellt, siehe Tab. 2. Bei einem Feldversuch in Stargard (Polen) erwies sich die Verwendung eines zweirädrigen Long John gegenüber der eines Schwerlastenfahrrads als deutlich vorteilhafter, was u.a. durch die schlechte Fahrradinfrastruktur bedingt war (Nürnberg 2019).

Die Tab. 1 weist auch Fahrradanhänger aus. Im Rahmen dieser Arbeit stehen sie nicht im Fokus, können aber weitgehend als Variation oder Ergänzung des Fahrzeugkonzepts Lastenrad verstanden werden. Elektrifizierung und intelligente Bremssysteme haben bei den Fahrradanhängern zu ähnlichen Neuentwicklungen (Re-Innovationen) eines alten Konzepts geführt. Das Ziehen eines elektrifizierten Anhängers ist auch mit konventionellen Fahrrädern ohne große Kraftanstrengung möglich. Zu beachten sind allerdings gesetzliche und herstellerseitige Vorgaben, die sich auf das Gespann aus Fahrrad/Lastenrad und Anhänger beziehen. So darf beides bspw. nicht elektrifiziert sein, damit das Gespann insgesamt noch als Fahrrad gilt.

---

<sup>3</sup> Im Rahmen der genannten Studie wurde eine Recherche zur Nutzlast von 121 Lastenradmodellen durchgeführt und freundlicherweise von Tom Assmann (Uni Magdeburg) zur Verfügung gestellt. Die in Tab. 1 angegebenen Spannen entsprechen dem Wertebereich zwischen 1. und 3. Quartil der Verteilung, d.h. die mittleren 50 % der Nutzlasten je Bauform.

Tab. 1 Typische Lastenradbauformen mit ihren Transportkapazitäten und Einsatzfeldern (verändert nach Behrens & Gruber (2017), Angaben zur Nutzlast von Schenk et al. (2017))

Anz. Räder	Bauform	Seitenansicht (Icons: DLR)	Laderaumvolumen Projektflotte	Nutzlast Q1-Q3 Schenk et al.	Charakterisierung und Einsatzfelder
2	<b>Lieferbike</b>		90 l (hinten) 40 l (vorne)	50 – 79 kg (n=17)	<ul style="list-style-type: none"> <li>Einspuriges Lastenrad mit Bauform und Fahrverhalten annähernd wie bei klassischem Fahrrad.</li> <li>Rahmen und Komponenten jedoch für größere Zuladung und harten Einsatz im Lieferbetrieb mit wechselndem Fahrpersonal ausgelegt.</li> <li>Hohe Ladeflächen über dem Vorder- und Hinterrad.</li> <li>Für kleine schnelle Transporte auf allen Streckenlängen.</li> </ul>
2	<b>Long John</b>		150 – 300 l	80 – 100 kg (n=23)	<ul style="list-style-type: none"> <li>Einspuriges Lastenrad mit verlängertem Radstand und tiefer Ladefläche vorne.</li> <li>Indirekte Lenkung des kleineren Vorderrads über Schubstange oder Seilzug.</li> <li>Länger, aber nicht unbedingt breiter als klassisches Fahrrad.</li> <li>Für leichte bis mittelschwere und schnelle Transporte auch auf längeren Strecken.</li> </ul>
2	<b>Longtail</b>		Meistens offene Ladefläche	70 – 105 kg (n=8)	<ul style="list-style-type: none"> <li>Einspuriges Lastenrad mit verlängertem Radstand und Ladefläche hinten.</li> <li>Keine Sichtbeschränkung auch bei höheren Lasten.</li> <li>Länger, aber nicht breiter als klassisches Fahrrad, Lenkung und Fahrweise vergleichbar.</li> <li>Für leichte bis mittelschwere und schnelle Transporte auch auf längeren Strecken.</li> </ul>
3	<b>Trike</b>		330 l	80 – 120 kg (n=44)	<ul style="list-style-type: none"> <li>Mehrspuriges Lastenrad mit tiefer Ladefläche vorne, breiter als klassische Fahrräder.</li> <li>Modelle mit Drehschemellenkung: Im Stand kippsicher, aber keine schnellen Kurvenfahrten. Für mittelschwere Transporte in gemächlicher Fahrweise auf kurzen bis mittleren Strecken und bei vielen Stopps.</li> <li>Modelle mit Neigetechnik: Deutlich wendiger und schneller in Kurven. Auch für längere Strecken geeignet.</li> </ul>
3 – 4	<b>Schwerlastenfahrrad</b>		1,300 – 2.300 l	125 – 200 kg (n=27)	<ul style="list-style-type: none"> <li>Mehrspuriges Lastenrad für große Zuladung.</li> <li>Ladefläche meist hinten und kompatibel mit Europaletten.</li> <li>Deutlich breiter und länger als klassische Fahrräder; mit Transportbox auch deutlich höher.</li> <li>Im Stand kippsicher, aber langsamere Fahrweise. Für schwere und große Transporte von 100 kg oder mehr.</li> <li>Einige Modelle bieten Wetterschutz.</li> </ul>
2 – 3	<b>Anhänger</b>		1,300 – 1.700 l oder offene Ladefläche	ca. 150 kg Nicht bei Schenk et al. berücksichtigt	<ul style="list-style-type: none"> <li>Anhänger sind mit vielen herkömmlichen Fahrrädern kompatibel, ebenso mit Lastenrädern mit einzelner Hinterrad</li> <li>Einige Modelle sind elektrifiziert und unterstützen bis zu 25 km/h bei Betrieb im Gespann mit einem Fahrrad bzw. bis zu 6 km/h bei Verwendung als Handwagen mit Deichsel.</li> </ul>

Tab. 2 Vergleich zwischen zweirädrigen und drei-/vierrädrigen Lastenrädern (Brost et al. 2019: 30)

	<b>Zweirädrige Lastenräder</b>	<b>Drei- und vierrädrige Lastenräder</b>
Fahrverhalten	+ Dynamisch, wendig	+ Entspanntes, gemütliches Fahren
Stadtverkehr	+ Auch für längere Fahrten und abschüssige Wege geeignet	– „Mitschwimmen“ im Verkehr nur bedingt möglich
Abmessung	+ Einfaches Parken	– Parkprobleme
	– Geringe Zuladung	+ Großes Ladevolumen
Kippgefahr	+ Kippgefahr bei Langsamfahrt	– Kann in Kurven umkippen
Wendigkeit	– Größerer Wendekreis	+ Kleiner Wendekreis
	+ Einfaches Umfahren von Hindernissen durch geringe Fahrzeugbreite	– Schwieriges Umfahren von Hindernissen durch größere Fahrzeugbreite
Kraftaufwand	+ Gering	– Aktiver Körpereinsatz nötig

## 2.3 Derzeitige gewerbliche Nutzung von Lastenrädern

### 2.3.1 Segmentierung von Nutzungsarten

Lenz & Riehle (2013) zeigen eine erste systematische Übersicht zur Lastenradnutzung in Europa, basierend auf Befragungen von 38 Unternehmen, die größtenteils in Großbritannien, Belgien, Österreich, Deutschland und Spanien verortet sind. Hinsichtlich der Nutzungsformen dominiert die KEP-Branche mit 26 Unternehmen. Weitere Einsatzfelder sind allgemeine Transporte und Lieferdienste, weitergehende Logistikdienstleistungen, Gastronomie und Handel. Wenige der ermittelten Beispiele hingegen betreffen Handwerk und kommunale Dienstleistungen.

Im Rahmen des EU-Projekts Cyclelogistics (Wrighton et al. 2017) werden drei wesentliche Einsatzfelder für Lastenradlogistik gesehen:

- Postzustellung;
- Kurierdienstleistung („point to point“); sowie
- Paketzustellung auf der letzten Meile in Kooperation mit einem großen Paketdienst und unter Verwendung eines Mikrodepots.

Staricco & Vitale Brovarone (2016) differenzieren die gewerbliche Lastenradnutzung hinsichtlich ihrer logistischen Infrastruktur und Raumwirksamkeit in vier Klassen:

- Direktfahrten ohne Konsolidierungspunkt, d.h. Kurierdienste;
- Einzelner urbaner Konsolidierungspunkt (Urban Consolidation Center). Assmann et al. (2019) sehen dies, wenn bezogen auf die deutschen GVZ (Güterverkehrszentren), allerdings aufgrund der zu großen Entfernungen zu den Zustellgebieten als nicht geeignet für Radlogistik an;
- Mehrere kleine urbane Konsolidierungspunkte / Mikrodepots, (vgl. hierzu auch die Anmerkungen im folgenden Kap. 2.3.2.);
- Mobile Depots.

Schenk et al. (2017) sprechen von vier Ausprägungsformen der Lastenradlogistik:

- City-Logistik;
- KEP-Logistik;
- Urbane Distributionslogistik; und
- Werkverkehr.

Eine weitere Typologie mit Praxisbeispielen bietet Maes (2017) in seiner Dissertation, siehe Fig. 3:

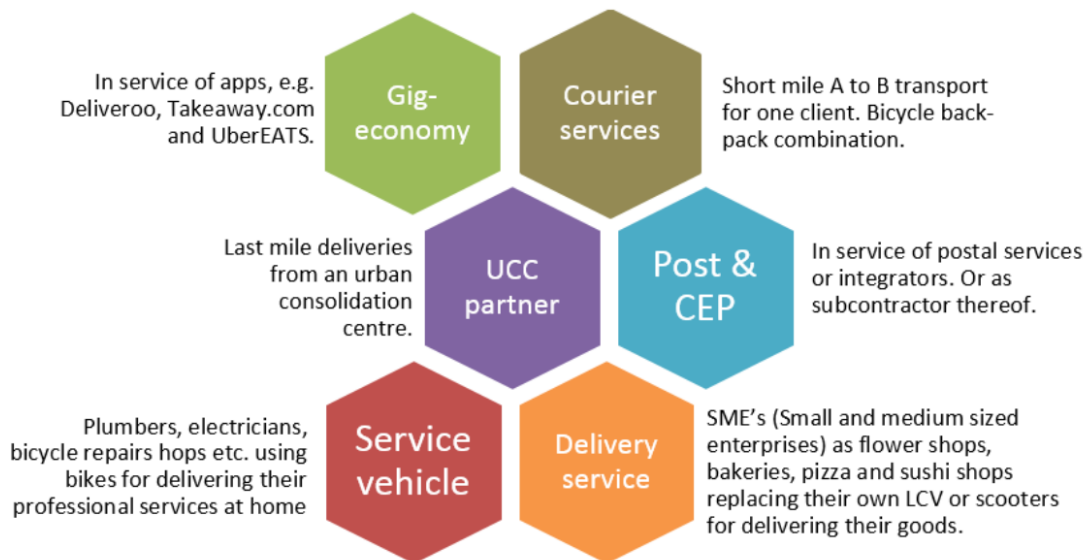


Fig. 3 Market segments of cargo bicycle transport (Maes 2017:115)

Auch innerhalb des Projekts WIV-RAD erstellte der Autor in Zusammenarbeit mit den anderen Projektbeteiligten eine Kategorisierung des Fahrrad-Wirtschaftsverkehrs in sechs Marktsegmente:

- Postdienstleistung,
- Kurierdienstleistung,
- Paketdienstleistung,
- Lieferservice,
- Werkverkehr und
- Personenwirtschaftsverkehr.

Eine ausführliche Charakterisierung dieser Marktsegmente enthält der Projektbericht (Gruber et al. 2016:11-33). Die wesentlichen Merkmale der sechs Marktsegmente werden darüber hinaus im Fachartikel B-1 vorgestellt (siehe Kap. 6.4).

Trotz der häufigen Fokussierung auf den KEP-Bereich lässt sich in Summe eine große Bandbreite des gewerblichen Einsatzes von Lastenrädern erkennen. Das Fahrzeugkonzept kommt in allen drei Teilbereichen des Wirtschaftsverkehrs nach Arndt (2010) zur Anwendung: Güterwirtschafts-, Dienstleistungs- und Personenwirtschaftsverkehr. Aufgrund von Abgrenzungsschwierigkeiten und Mischformen der genannten Bereiche könnte auch sehr vereinfachend unterschieden werden, ob bei der Lastenradnutzung die Transportdienstleistung oder die Erbringung einer Dienstleistung am Zielort im Vordergrund steht. Bei Letzterem werden Lastenräder „quasi als Produktionsmittel“ (Bracher et al. 2018:11) eingesetzt, wie z.B. bei Pflegediensten, Handwerksbetrieben, Schornsteinfegern, Stadtreinigungen oder auch bei Behörden und Organisationen mit Sicherheitsaufgaben (BOS).

Eine untergeordnete Rolle generell spielt hingegen der Personenbeförderungsverkehr, zum Beispiel in Form vorrangig touristisch genutzter Fahrrad-Rickschas (Menge & Horn 2014). Keine Relevanz für diese Arbeit haben auch Lastenräder als Verkaufsstände (z.B. „Coffee Bikes“) oder reine Werbeträger.

Eine Tabelle mit einer Auflistung von rund 50 praktizierten Formen der Lastenradnutzung findet sich bei Rudolph & Gruber (2017:27), Porträts von Best Practices auch bei Wrighton et al. (2017). Die folgende Fig. 4 zeigt exemplarisch einige konkrete Formen gewerblicher Lastenradnutzung. Aus Gründen des Urheberrechts mussten einige Fotos entfernt werden.

Zu sehen sind von links nach rechts: Paketdienste UPS, Hermes, GLS, DHL, Logistikunternehmen Dachser, Radlogistikunternehmen Velogista, Speisenlieferdienst Joey's Pizza (seit 2016 Domino's Pizza), Schornsteinfeger Jörg Kibelius, Fahrradstaffel der Berliner Polizei (Foto: DLR), Kurierdienst messenger (Foto: Amac Garbe/DLR), Brauhaus Goslar, Stadtreinigung Hamburg (Foto: Johannes Gruber), Entsorgungs-Betriebe der Stadt Ulm.



Fig. 4 Exemplarische Nutzungen von Lastenrädern in diversen gewerblichen Kontexten

### 2.3.2 Eigene Initiativen von Unternehmen der Logistikbranche

Einige Großunternehmen der Paketbranche und des Onlinehandels haben bereits die Anwendbarkeit von Lastenrädern in betriebsintern organisierten Initiativen getestet (vgl. die im Corporate Design gestalteten Fahrzeuge in Fig. 4). Zumeist wird hier das Fahrzeugkonzept Lastenrad mit dem Logistikkonzept Mikrodepot kombiniert. Mikrodepots oder Mikrokonsolidierungszentren sind „Schnittstellen zwischen größeren Liefer-Lkw und Lastenrädern oder –karren, die die Feinverteilung auf der letzten Meile übernehmen. Diese Zentren können Container, Wechselbrücken oder kleine Lager sein“ (Arndt 2018:5). Da sich die vorliegende Arbeit auf das Fahrzeugkonzept Lastenrad auch jenseits von Mikrodepotlösungen bezieht, wird an dieser Stelle nicht ausführlicher auf Mikrodepots eingegangen. Empfehlenswerte Anknüpfungspunkte bieten der umfangreiche Leitfaden zur Planung von Lastenradumschlagsknoten (Assmann et al. 2019) sowie das Handbuch zu Mikrodepots im interkommunalen Verbund mit Fokus auf die Kommunen Krefeld, Mönchengladbach und Neuss (IHK Mitterer Niederrhein 2019).

Seit 2012 betreibt der Paketdienst UPS zunächst an einem, seit 2015 an vier zentral gelegenen Standorten in Hamburg Umschlagsknoten in Form von Containern (sog. 24-Fuß-Wechselkoffern), welche morgens, gefüllt mit Paketsendungen, per Lkw vom suburbanen Depot geliefert und abends mit den Retouren dorthin zurückgebracht werden (Purkarthofer 2018). Untertags werden die Pakete aus dem Container per Schwerlastenfahrrad und Trike (vgl. Übersicht der Bauformen in Kap. 2.2.3), aber auch per Sackkarre und direkt zu Fuß an die (vorwiegend B2B)-Kunden geliefert. Laut Aussage von UPS sollte der Zustellradius um ein Mikrodepot nicht größer als 800 bis 1.000 m sein (Ninnemann et al. 2017:35). Dieses „Hamburger Modell“ eines Mikrohub wurde zwischenzeitlich auf Paris und München ausgeweitet.

In Nürnberg wurde ein Mikrodepotkonzept mit Lastenradnutzung durch die Paketdienste DPD und GLS von März bis Oktober 2017 erprobt. Die wissenschaftliche Evaluation (Bogdanski et al. 2017) zog zur Gegenüberstellung den Status-quo-Fall heran und stützte sich auf ein dreimonatiges Datensample der Paketdienste sowie Simulationen und Messungen von Tagestouren mit Lastenradeinsatz. Zu den Ergebnissen der Pilotanwendungen siehe weiter unten in Kap. 2.4.2 (Verlagerungspotenzial) und Kap. 2.4.4 (Wirtschaftlichkeit).

In Berlin-Prenzlauer Berg nahmen 2018 und 2019 die fünf führenden deutschen Paketdienste am Projekt „KoMoDo“ teil und nutzten eine gemeinsame Fläche (Straßenbahn-Wendeschleife in der Eberswalder Straße) für Mikrodepotlösungen in einem Radius von 3 km. Es fand allerdings keine unternehmensübergreifende Konsolidierung der Sendungen statt. Getestet wurde also ein anderes Konzept als bspw. die in einer Nachhaltigkeitsstudie des Branchenverbands BIEK skizzierte Variante, bei der Mikrodepots anbieterübergreifend genutzt werden (BIEK 2015:53). Dennoch ist die Zusammenarbeit mehrerer Paketdienste bemerkenswert, insbesondere dahingehend, da es eines der ersten Beispiele dafür ist, dass diese Wettbewerber unter dem Dach eines kommunalen Betreibers (der Berliner Hafen- und Lagerhausgesellschaft BEHALA) kooperieren (LNC 2019b, LNC 2019a).

2016 beginnt Amazon mit der Nutzung von sieben Lastenrädern für seine Zustelloption „Prime Now“ aus einem innerstädtischen Hub in Berlin-Charlottenburg (leerstehende Einzelhandelsflächen im „Kudamm Karree“). Der Betrieb der zwei- und dreirädrigen Lastenräder erfolgt zunächst durch die



Subunternehmer GO! Express & Logistics und Interkep. Die primäre Dienstleistung, die aus diesem Hub organisiert wurde, ist eine 2-Stunden-Zeitfensterzustellung für die „Prime“-Kunden im Zustellgebiet, welches ungefähr dem Gebiet innerhalb des Berliner S-Bahnringes entspricht (Quelle: eigener Besuch bei Amazon am 16.9.2016 sowie Behrens (2016) und Wrighton et al. (2017:26)). Nach Ablauf des Mietvertrags verlagerte Amazon dieses Depot 2018 an einen peripherer gelegenen Standort in Berlin-Tegel (Borsigturm). Es ist unklar, in welchem Ausmaß weiterhin Lastenräder für die Zeitfensterzustellung genutzt werden (vgl. Schaader 2018).

### **2.3.3 Branchenübergreifende öffentliche Lastenrad-Testprogramme**

Neben der von einigen Konzernen durchgeführten Paketdistribution zeigt sich bei der Lastenradnutzung im Rahmen von öffentlichen Testprogrammen eine wesentlich höhere Heterogenität hinsichtlich Branchen, Unternehmensgrößen und Nutzungszwecken.

Während des Förderprogramms „Lastenräder/Lasten-Pedelecs für Münchner Gewerbetreibende“ des Referats für Arbeit und Wirtschaft der Landeshauptstadt München in Zusammenarbeit mit der IHK für München und Oberbayern wurde 13 Gewerbetreibenden ein Lastenrad zur Verfügung gestellt. Im Zuge einer Evaluation wurden neben qualitativen Interviews zwei jeweils einmonatige Messphasen im Sommer und Herbst 2015 durchgeführt, um Fahrzeugbewegungen und Energieverbrauch aufzuzeichnen (Fischhaber 2016). Relevante Ergebnisse werden in Kap. 2.4 vorgestellt.

2016 initiierte das Amt für Umweltschutz der Stadt Bern in Zusammenarbeit mit einer Lastenradinitiative der Mobilitätsakademie des Touring Club Schweiz das Lastenrad-Testprogramm „Mir sattlä um“. Neun kleinere und mittelgroße Berner Unternehmen aus den Branchen Einzelhandel, Handwerk und Dienstleistungen nutzten die Fahrzeuge ein halbes Jahr im Testeinsatz und erhielten anschließend eine Kaufoption. Die Ergebnisse der Begleitforschung wurden von Schmid & Stawicki (2017) veröffentlicht, siehe hierfür ebenfalls Kap. 2.4.

Im Programm „Ich entlaste Städte“ konnten unter Leitung des Autors 152 Lastenräder deutschlandweit insgesamt 755 gewerblichen Testern zur Verfügung gestellt werden. Zwischen 2017 und 2019 bewarben sich 1.917 Organisationen um eine Teilnahme am jeweils dreimonatigen Lastenradtest, darunter 48 % Unternehmen, 25 % Soloselbstständige und Freiberufler\*innen, 14 % öffentliche Einrichtungen und 13 % NGOs und Vereine (Gruber 2020)<sup>4</sup>. Die wissenschaftliche Begleitforschung basiert auf mehreren Befragungswellen sowie GPS-Tracking per Smartphone. Der Fachartikel C (Kap. 8) fußt auf Daten dieses Projekts. Die Heterogenität der beteiligten Branchen zeigt Fig. 5. Dort sind die teilnehmenden privatwirtschaftlichen Betriebe (d.h. Unternehmen und Soloselbstständige, n=551) nach Wirtschaftszweig aufgeschlüsselt, entsprechend der obersten Ebene (Abschnitte) der offiziellen WZ 2008-Klassifikation (Destatis 2020c). Zum Vergleich sind auch die prozentualen Verteilungen der Unternehmen (Destatis 2020d, n=3,5 Mio.) sowie der Erwerbstätigen (Destatis 2020a, n=38,2 Mio.) nach Wirtschaftszweig abgebildet. Während bspw. der Anteil des Sektors G (Handel) bei der Anzahl an Unternehmen und der des Sektors C (Verarbeitendes Gewerbe) bei den Erwerbstätigen deutlich überdurchschnittlich ist, zeigt die Verteilung der Projektteilnehmer eine

---

<sup>4</sup> Die Veröffentlichung dieser Quelle (Schlussbericht des Projekts „Ich entlaste Städte“) erfolgt im Herbst 2020.

geringere Varianz: Zwölf Wirtschaftszweige weisen Anteile von 5 – 12 % auf, was als grundsätzlich branchenübergreifende Einsatzfähigkeit von Lastenrädern interpretiert werden kann.

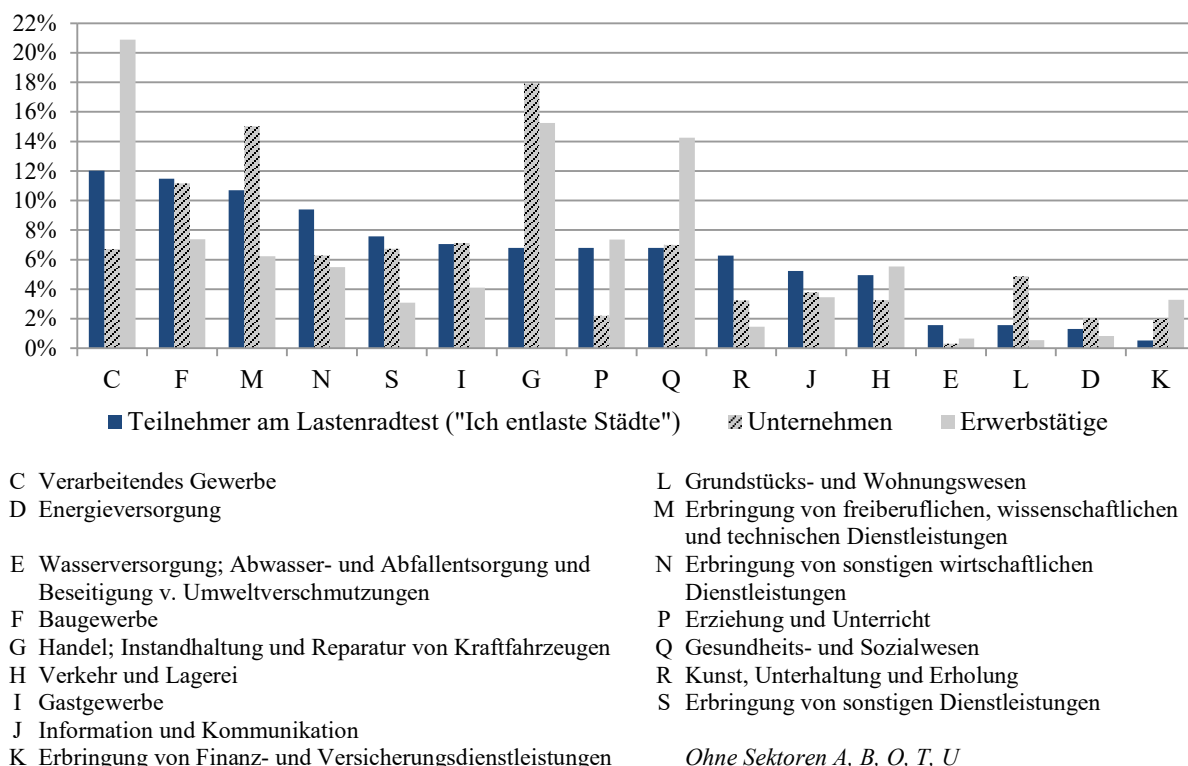


Fig. 5 Teilnehmer am Lastenrad-Testprogramm "Ich entlaste Städte" nach Wirtschaftszweig im Vergleich zu den deutschlandweiten, prozentualen Verteilungen der Unternehmen und Erwerbstätigen nach Wirtschaftszweig (eigene Berechnungen nach Gruber (2020), Destatis (2020d), Destatis (2020a))

### 2.3.4 Statistiken zu Absatz und Nutzung

Gewiss sind Lastenräder aktuell ein Nischenprodukt. Bereits die Alltagsbeobachtung auf Straßen und Radwegen selbst in Städten mit hohem Fahrrad-Modal-Split-Anteil zeigt die derzeit geringe Verbreitung dieses Fahrzeugkonzepts. Dementsprechend und aufgrund der rechtlichen Gleichstellung mit dem Fahrrad werden Lastenräder in den meisten Verkehrserhebungen oder Branchenstatistiken nicht separat geführt. Menge & Horn (2014:21) sehen hier „Handlungs- und Nachholbedarf, insbesondere auch um Diskussionen über mögliche Verlagerungspotenziale mit Substanz zu versehen“. Im Folgenden werden die verfügbaren Kennzahlen vorgestellt.

Der Zweirad-Industrie-Verband ZIV weist jährlich die in Deutschland verkauften Fahrräder nach Modellgruppen aus. Bis 2014 wurden Lastenräder in der Kategorie „Sonstige“ geführt, gemeinsam mit Tandems, Liege- oder Behindertenrädern. Seit 2015 werden E-Lastenräder bei der Ausweisung des Pedelec/E-Bike-Absatzes nach Bauform als eigene Kategorie erfasst. Der jüngste verfügbare Wert für das Jahr 2018 liegt bei 4 %, siehe Fig. 6 und ZIV (2020). Bei einer knappen Million verkauften Pedelecs und E-Bikes insgesamt ergibt sich ein Absatz von 39.200 E-Lastenrädern im Jahr 2018. Dieser Wert hat sich von 2015 bis 2018 etwa vervierfacht, siehe Fig. 7 und ZIV (2019). Die Verbandszahlen zeigen, dass das (E-)Fahrrad weiterhin vor allem ein privat genutztes Verkehrsmittel ist. Sie geben aber auch einen Hinweis auf die hohe Wachstumsdynamik bei E-Lastenrädern.

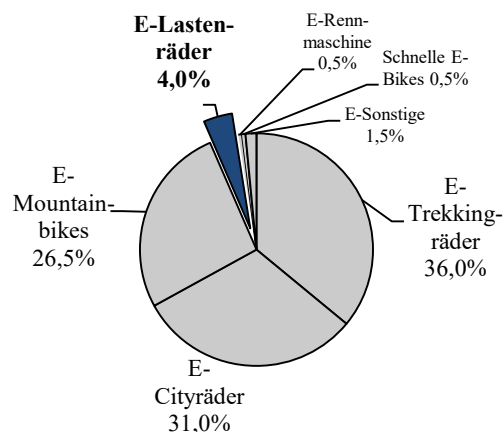


Fig. 6 Anteile von Fahrrad-Modellgruppen am Verkauf von Pedelecs und E-Bikes 2018 in Deutschland (ZIV 2020:18, eigene Darstellung)

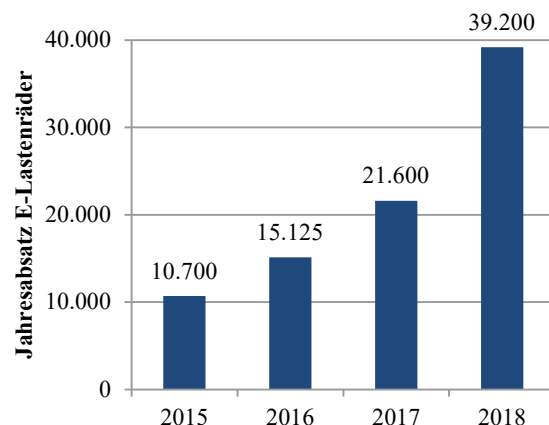


Fig. 7 Jahresabsatz von E-Lastenrädern in Deutschland (ZIV 2019:23, eigene Darstellung)

Neben dem jährlichen Absatz sind auch Statistiken zur Nutzung von Relevanz. Im Rahmen des Projekts WIV-RAD war der Autor an einer Abschätzung des Bestands gewerblich genutzter Lastenräder in sechs zuvor definierten Marktsegmenten beteiligt (vgl. Kap. 2.3.1 und Kap. 6.4 im Fachartikel B-1), publiziert im Schlussbericht (Gruber et al. 2016). Diese ergab für den Zeithorizont 2015/2016 rund 52.100 gewerblich genutzte Fahrzeuge, davon 30.000 bei Postdiensten, 200 bei Kurierdiensten, 100 bei Paketdiensten, 10.000 bei Lieferservices, 10.800 im Werkverkehr sowie 1.000 im Personenwirtschaftsverkehr (ebd.:34 f.).

Weitere Kennwerte enthalten zwei repräsentativen Befragungen (Fahrrad-Monitor Deutschland 2017 bzw. 2019), die das Sinus-Institut im Auftrag des BMVI durchgeführt hat (Borgstedt et al. 2017, Borgstedt et al. 2019). In Tab. 3 werden die zwei Zeiträume miteinander verglichen.

Tab. 3 Kennwerte der Lastenradnutzung nach BMVI Fahrrad-Monitor 2017 und 2019

Stichprobe	Aspekt	2017	2019
Alle Befragte N (2017) = 3.156 N (2019) = 3.053	Lastenradnutzung	1 %	2 %
	Bekanntheit („Haben Sie schon einmal von Lastenrädern gehört?“)	39 %	54 %
	Kaufpotenzial („Könnten Sie sich generell vorstellen, ein Lastenrad anzuschaffen?“)	7 %	10 %
Lastenradnutzende N (2017) = 26 N (2019) = 70	Nutzungszweck: „Beruflich/Gewerblich“	15 %	17 %

Die berichteten Werte zeigen ein Wachstum der Bekanntheit von Lastenrädern und des Kaufpotenzials. Aufgrund der geringen Gruppengröße (1 % der Befragten sind bereits Lastenradnutzer in 2017, 2 % in 2019) unterliegen die folgenden Aussagen aber einer hohen statistischen Schwankungsbreite. Etwa jede\*r sechste Lastenradnutzende verfolgt mit dem Fahrzeug berufliche oder gewerbliche Zwecke. Hochgerechnet auf die deutsche Bevölkerung im Alter von 18 bis 65 Jahren (rund 51,4 Millionen laut Destatis 2020b), ergäbe sich eine Gruppe von rund 201.000 Lastenradnutzenden im Jahr 2019, die ihr Fahrzeug beruflich oder gewerblich einsetzen. Im Vergleich zu 2017 (64.000 gewerbliche Lastenradnutzende) wäre dies eine deutliche Steigerung. Trotz der

statistischen Unsicherheit korrespondieren diese Werte in ihrer Größenordnung mit der Anzahl abgesetzter E-Lastenräder (rund 40.000 im Jahr 2018) und den Abschätzungen im Projekt WIV-RAD.

Lastenräder können punktuell relativ hohe Modal-Split-Anteile haben, vor allem in den verkehrsberuhigten Innenstadtzentren. Bei einer insgesamt 11-stündigen Zählung von KEP-Fahrzeugen, die an mehreren zentralen Punkten in Hamburg durchgeführt wurde, wurde ein 15 %-Anteil von Fahrrädern und Lastenrädern (neben 16 % Pkw, 57 % Transportern bis 7,5 t und 11 % größeren Lkw) ermittelt (Ninnemann et al. 2017). Die sieben Zählstellen liegen in einem Radius von höchstens einem Kilometer um das Hamburger Rathaus. 11 % der gezählten Fahrzeuge wurden dem Stadtkurierdienst Kurier AG<sup>5</sup> zugeordnet. Dieser Anteil zeigt die hohe Nachfrage nach Kurier- und Expressendungen in diesen Räumen (siehe hierzu auch Kap. 4.3 in Fachartikel A-1). Im Vergleich dazu entfielen auf DHL „nur“ 25 % der Fahrzeuge (ebd.:17).

## **2.4 Dimensionen der Bewertung von Lastenrädern im städtischen Wirtschaftsverkehr**

Während Nachhaltigkeitsinnovationen häufig mit Hilfe von diffusionstheoretischen Ansätzen wie von Rogers (2003) untersucht werden – siehe hierzu auch den eigenen Fachartikel B-2 (Kap. 6) oder das umfassende Werk von Fichter & Clausen (2013) –, soll der hier vorgegebene Kontext zur Bewertung der gewerblichen Lastenradnutzung nicht auf Diffusionstheorie aufbauen, da sich dort die zugrunde liegenden Anwendungsfälle auf Konsumenten und nicht auf wirtschaftliche Akteure im Allgemeinen oder gar Wirtschaftsverkehr im engeren Sinn beziehen. Die rahmende Darstellung dieses Forschungsvorhabens konzentriert sich daher auf folgende im Wirtschaftsverkehr wirksame Faktoren: Vor- und Nachteile des Fahrzeugkonzepts gegenüber konventionellen Lieferfahrzeugen (2.4.1), Verlagerungspotenzial (2.4.2), verkehrliche Eignung (2.4.3) und Wirtschaftlichkeit (2.4.4). Abschließend wird der bisherige Markterfolg dargestellt (2.4.5).

### **2.4.1 Vor- und Nachteile gewerblicher Lastenradnutzung gegenüber konventionellen Fahrzeugen**

Eine Zusammenfassung des Forschungsstands zu den Vor- und Nachteilen gewerblicher Lastenradnutzung wird in Tab. 4 gezeigt. Die folgenden Textabschnitte enthalten eine chronologische Einordnung der zugrunde gelegten Quellen.

Transport for London (TfL) gab vor gut zehn Jahren eine Rahmenstudie („scoping study“) zum Fahrradgüterverkehr in London heraus (Transport for London 2009). Die Darstellung der Vor- und Nachteile der Lastenradnutzung basieren auf qualitativen Interviews mit etwa zehn Londoner Unternehmen der Transportwirtschaft. Ebenfalls in London wurde 2009 die Nutzung von Lastenrädern im Rahmen eines Mikrokonsolidierungszentrums pilotiert (Browne et al. 2011). In einem Fachbeitrag, bei dem die Kennzahlen des Vorher-Nachher-Vergleichs dieser Pilotierung im Vordergrund standen, führten die Autoren auch zahlreiche Treiber und Hemmnisse auf, allerdings ohne auf die Genese dieser Aspekte einzugehen (Leonardi et al. 2012).

---

<sup>5</sup> Dieses Unternehmen beteiligte sich als eines von acht Stadtkurier-Zentralen am DLR-Projekt „Ich ersetze ein Auto“. Die Auftragsdaten der Kurier AG sowie Ergebnisse eigener empirischer Erhebungen mit selbstständigen Kurier\*innen gingen somit in die Analysen ein, welche im Beitrag A (Kap. 3 und 5) veröffentlicht wurden.

Tab. 4 Übersicht: Vor- und Nachteile der Lastenradnutzung

Transport for London (2009)		+	<ul style="list-style-type: none"><li>• Geringere Anschaffungskosten</li><li>• Geringere Betriebskosten</li><li>• Keine Parkgebühren und keine Congestion Charge</li><li>• Fahrtgeschwindigkeit und Zuverlässigkeit der Fahrtzeit bei Staubbedingungen</li><li>• Anforderungen an die Fahrer*innen</li><li>• Geringe negative Umweltwirkungen (und damit verbundener PR-Vorteil)</li></ul>
Räumlicher Bezug: London			— <ul style="list-style-type: none"><li>• Verkehrssicherheit</li><li>• Begrenzte Reichweite und Zuladung</li><li>• Ermüdung der Fahrer*innen</li></ul>
Leonardi et al. (2012)		+	<ul style="list-style-type: none"><li>• Flächeneffizienz beim Be- und Entladen sowie beim Abstellen</li><li>• Geringere Stauanfälligkeit</li><li>• Nutzung von Fahrradinfrastruktur und teilweise von Busspuren möglich</li><li>• Erreichbarkeit von für Kfz gesperrte Bereiche</li><li>• Keine Emission von Treibhausgasen und sehr geringes Lärmniveau</li><li>• Geringere Anschaffungs- und Betriebskosten</li><li>• Keine Parkgebühren und keine Congestion Charge</li><li>• Keine Führerscheinplicht</li><li>• Hohes öffentliches Ansehen</li></ul>
London			— <ul style="list-style-type: none"><li>• Zuladekapazität (Gewicht und Volumen) / Nutzlast</li><li>• Geringere Fahrtgeschwindigkeit im Fließverkehr</li><li>• Geringer Aktionsradius</li><li>• Lage der Distributionszentren derzeit am Stadtrand oder außerhalb</li><li>• Hoher Aufwand bei Umstellung der Lieferkette</li></ul>
Cyclelogistics-Projekte	Barner & Wood (2013); (Wood 2013) EU-Städte (implizit)	—	<ul style="list-style-type: none"><li>• Vgl. Transport for London (2009), ergänzend:</li><li>• Notwendige Personalkosten ggf. höher als Anschaffungskosten</li><li>• Verfügbarkeit von Abstellflächen in Innenräumen</li><li>• Geringes Wissen bei Entscheidern</li><li>• Verkehrssicherheit</li><li>• Verfügbarkeit von Lastenrädern</li></ul>
	Wrighton et al. (2014) EU-Städte (implizit)	+	<ul style="list-style-type: none"><li>• Kosteneffizienz</li><li>• Schnelligkeit und Zuverlässigkeit</li><li>• Flexible Einsetzbarkeit</li><li>• Sicher</li><li>• Professionell</li><li>• Umweltfreundlich</li><li>• Positives Images (fun, smart, trendy)</li><li>• Lokale Komponente</li></ul>
Menge & Horn (2014)		+	<ul style="list-style-type: none"><li>• Lokal emissionsfrei (Lärm, Schadstoffe, klimawirksame Gase)</li><li>• Geringe Flächeninanspruchnahme</li><li>• Gute zeitliche Planbarkeit, daher Verlässlichkeit von Transporten</li><li>• Flexibilität und relative Unabhängigkeit von der Verkehrsdichte</li><li>• Erreichbarkeit als echte Tür-zu-Tür Beziehung</li><li>• Kein Parksuchverkehr</li></ul>
Deutsche Städte (implizit)			<ul style="list-style-type: none"><li>• Kaum Parkgebühren und Aufwendungen für Ordnungswidrigkeiten</li><li>• Erreichbarkeit von für Kfz gesperrte Bereiche</li><li>• Geringere Gesamtbetriebskosten</li><li>• Niedrigere Einstiegsinvestitionen</li><li>• Steuerliche Gleichstellung des Fahrrads mit dem Auto bei Nutzung als Dienstfahrzeug</li><li>• Rechtliche Besonderheiten: Fahrräder fallen nicht unter Regelungen des Güterkraftverkehrsgesetzes (GüKG) und der Lenk- und Ruhezeiten</li></ul>

Menge & Horn (2014)	—	<ul style="list-style-type: none"> <li>Anforderung der Transporte (Distanz, Zeitbedarf)</li> <li>Anforderung der zu transportierenden Güter (Gewicht, Volumen)</li> </ul>
Fischhaber (2016)	+	<ul style="list-style-type: none"> <li>Wegfallen von Stau und Parkplatzsuche</li> <li>Geringe Unterhaltskosten</li> </ul>
München	—	<ul style="list-style-type: none"> <li>Unzureichende Beladungsmöglichkeit</li> <li>Hohe Anschaffungskosten</li> <li>Komfort</li> </ul>
Schmid & Stawicki (2017)	+	<ul style="list-style-type: none"> <li>Imageförderung</li> <li>Zeitersparnis</li> <li>Klimaschutz</li> <li>Flexibilität, v.a. hinsichtlich des Abstellens am Zielort</li> </ul>
Bern	—	<ul style="list-style-type: none"> <li>Mitarbeitermotivation</li> <li>Technische Mängel (Motorleistung)</li> </ul>
Bogdanski et al. (2017)	+	<ul style="list-style-type: none"> <li>Verkehrliche Vorteile, z.B. Nutzung von Einbahnstraßen gegen die Fahrtrichtung</li> <li>Abkürzungsmöglichkeiten bei dichter Bebauung</li> <li>Kein Parksuchverkehr</li> <li>Wendigkeit</li> </ul>
Nürnberg	—	<ul style="list-style-type: none"> <li>Kapazitätsbeschränkung</li> <li>Unprofessionalität der Lastenradhersteller: lange Bestellzeiten (8-12 Wochen), falsche Angaben zu Verschleiß und Wartung</li> <li>Unausgereifte Konstruktionen</li> </ul>
Ninnemann et al. (2017)	+	<ul style="list-style-type: none"> <li>Flexibilisierung der Verkehrsbelastung durch Reduktion von großen Lieferfahrzeugen, dadurch weniger „Zweite-Reihe-Parken“</li> <li>Emissionsminderung</li> <li>Positive Außenwirkung, Stärkung des „grünen“ Images Hamburgs</li> <li>Hohe Kompatibilität zu Zielen der Stadtentwicklung</li> </ul>
Hamburg	—	<ul style="list-style-type: none"> <li>Flächenverfügbarkeit für Mikrodepots</li> <li>Verfügbarkeit geeigneter Lastenradmodelle in Qualität und Quantität; herkömmliche Komponenten zum Teil mangelhaft</li> <li>Hohe Anschaffungskosten</li> <li>Fehlende Standardisierung</li> <li>Anzahl und Professionalität der Hersteller gering, kleine Losgrößen bei Herstellung</li> <li>Rechtliche Rahmenbedingungen unklar</li> <li>Fehlende nachgelagerte Dienstleistungsnetzwerke für Wartung und Reparatur</li> <li>Mangelnde Bereitschaft der KEP-Dienste zur horizontalen Kooperation</li> </ul>
Vijayakumar (2017)	+	<ul style="list-style-type: none"> <li>Senkung der Treibhausgasemissionen</li> <li>Effizienzsteigerung auf der letzten Meile von Sendungen</li> <li>Besserer Verkehrsfluss in dichten Stadtzentren</li> <li>Steigerung der Beliebtheit des (privaten) Verkehrsmittels Fahrrad</li> <li>Gesundheitsvorteile und Spaßfaktor für Fahrrad-Zusteller</li> <li>Stimulation der lokalen Produktion von Lastenrädern und Komponenten</li> </ul>
Toronto	—	<ul style="list-style-type: none"> <li>Regulierung für E-Bikes verhindert Lastenräder über 120 kg</li> <li>Zusammenarbeit mit mehreren Paketdiensten ist schwierig, da Nutzung jeweils eigener proprietärer IT-Strukturen (z.B. bei Sendungsübergabe)</li> <li>Fahrradinfrastruktur</li> <li>Geringer Bekanntheitsgrad</li> </ul>
Anderluh et al. (2019)	+	<ul style="list-style-type: none"> <li>Geräuschfrei und mindestens lokal emissionsfrei</li> <li>Flexibel und schnell (v.a. in engen Altstadtstraßen)</li> <li>Unabhängig von Stau und Parkplatzproblematik</li> </ul>
Wien (implizit)	—	<ul style="list-style-type: none"> <li>Geringe Transportkapazität</li> <li>Geringe operative Distanz im Gegensatz zu konventionellen Fahrzeugen</li> </ul>

Die Autor\*innen der EU-Cyclelogistics-Projekte beziehen sich ebenfalls auf die TfL-Studie und fügen dieser weitere Aspekte hinzu (Barner & Wood 2013, Wood 2013), welche zusammen mit einer Reihe an postulierten Alleinstellungsmerkmalen (Wrighton et al. 2014) in Tab. 4 aufgeführt sind.

Menge & Horn (2014) betrachten die Fahrradnutzung im Wirtschaftsverkehr aus planerischer Perspektive. Sie sehen im Fahrrad ein „besonders attraktives Verkehrsmittel“ (S. 2) und einen „Ansatz für einen wirklich grünen Güterverkehr“ (S. 14). Sie zeigen eine umfangreiche Liste an Vorteilen und einzelne Hemmnisse auf.

Im Rahmen der Evaluation des Lastenrad-Förderprogramms für Münchner Gewerbetreibende (Fischhaber 2016) wurden 6 von 13 Probanden qualitativ befragt. Die Erkenntnisse zu Vor- und Nachteilen wurden in Tab. 4 übertragen. Die neun Teilnehmer des Berner Testprogramms (Schmid & Stawicki 2017) wurden ebenfalls befragt, sowohl vor als auch nach dem Test. Damit glichen die Autoren ab, ob sich die (positiven) Erwartungen und (negativen) Vorbehalte bewahrheiteten. In der Übersicht über die Vor- und Nachteile werden die bestätigten Treiber bzw. Hemmnisse dargestellt, nicht aber die während des Tests abgebauten Vorbehalte (bspw. hinsichtlich Diebstahl und Vandalismus oder mangelndem Abstellplatz).

Die Veröffentlichung von Bogdanski et al. (2017) zum Mikrodepot-Pilotprojekt in Nürnberg enthält indirekt einige für die KEP-Dienste relevante Treiber und Hemmnisse. Ninnemann et al. (2017) beziehen sich ebenfalls auf den Einsatz von Lastenrädern in der KEP-Branche (UPS-Mikrodepotmodell in Hamburg). Die Autoren erstellten eine SWOT-Analyse des bestehenden Konzepts und erörterten darüber hinaus Hemmnisse für die weitere Entwicklung, d.h. eine Ausweitung des Modellvorhabens.

In einer Veröffentlichung der kanadischen Denkfabrik Pembina Institute (Vijayakumar 2017) werden die Möglichkeiten für gewerbliche Lastenradnutzung in Toronto erörtert. Dabei geht die Autorin explizit auf die (teilweise raumspezifischen) Vor- und Nachteile ein.

Hauptinhalt des Artikels von Anderluh et al. (2019) ist die Einbettung von Lastenrädern in Tourenplanungs-Algorithmen für Wiener Anwendungsfälle. Zusätzlich finden sich auch hier einige Vor- und Nachteile.

Die vorangegangene Zusammenstellung zeigt eine recht umfangreiche und vielschichtige Sammlung von Determinanten, die die Verbreitung des Lastenrads im Wirtschaftsverkehr beeinflussen.

Allerdings bleiben Limitationen:

- Meistens fehlen eine Gewichtung der Aspekte oder eine Abwägung verschiedener Aspekte in Relation zueinander sowie eine Kontextualisierung von Aspekten, die sowohl als Vorteil als auch als Nachteil wirksam sein können.
- Es verbleiben Unklarheiten, etwa hinsichtlich Kostenaspekten (Fischhaber 2016).
- Einige Aspekte haben eine hohe lokale Spezifität (z.B. Transport for London (2009) bezogen auf London, Vijayakumar (2017) bezogen auf Toronto)
- Einige Studien basieren auf einer geringen Fallzahl von jeweils rund zehn Unternehmen (Transport for London 2009, Fischhaber 2016, Schmid & Stawicki 2017).

- Andere Darstellungen konzentrieren sich auf einzelne Branchen, etwa Paketdienste (Bogdanski et al. 2017, Ninnemann et al. 2017).
- Eine Überbetonung der Vorteile könnte bei Veröffentlichungen im Rahmen von Förderkampagnen intentional sein (Vijayakumar 2017 und teilweise Wrighton et al. 2014).
- Mitunter ist die Methode der Genese unklar oder nicht empirisch unterlegt (Leonardi et al. 2012, Anderluh et al. 2019).

Dies hinterlässt eine Forschungslücke:

Es fehlt eine strukturierte Übersicht der Aspekte sowie eine Kontextualisierung und Dimensionsreduktion (in Abschnitten dieser Arbeit beleuchtet, siehe Fachartikel B-1 (Kap. 6) und B-2 (Kap. 7) sowie die dazugehörige Synthese in Kap. 9.2 und insbesondere die darin enthaltene Tab. 22), um zukünftig auch eine vollständige Quantifizierung der Aspekte durchführen zu können (eine erste Basis für weitere Arbeiten bieten die „factor scores“ im Fachartikel B-2, siehe Kap. 7.3.2 und 7.4.2).

#### **2.4.2 Verlagerungspotenzial und damit verbundene Entlastung**

Um das Fahrzeugkonzept E-Lastenrad zu bewerten, sind Aussagen zu den verkehrlichen Verlagerungspotenzialen unerlässlich.

Die Autoren der Cyclelogistics-Projekte kommen bei der Abschätzung des Verlagerungspotenzials zum Ergebnis, dass etwa jede zweite Fahrt, die mit Güterverkehr in Verbindung steht, von einem Fahrrad oder Lastenrad übernommen werden könne. Allerdings bezieht sich diese Angabe auf gewerbliche und private Wege zusammen. Betrachte man allein den gewerblichen Verkehr, so liege das Potenzial bei etwa einem Viertel der Fahrten (Wrighton et al. 2014, Wrighton et al. 2017).

Menge & Horn (2014) weisen nach einer Auswertung von Fahrtweiten auf Basis von Daten der KiD 2010 ein hohes „theoretisches Verlagerungspotenzial“ (ebd.:5) aus. 40 % der Fahrten von Pkw gewerblicher Halter betragen im Land Berlin maximal 7 km, die Leerfahrtenanteile liegen bei bis zu 80 %. Die Autoren stellen aber fest: Dies kann „nicht direkt in ein Potenzial übersetzt werden“, vielmehr „lohnen vertiefende Analysen“. Die Reduktionspotenziale sind „bezogen auf den gesamten Wirtschaftsverkehr, sowohl hinsichtlich des Verkehrsaufkommens als auch der -leistung, eher gering“ (ebd.:6). Allerdings könne die Ausschöpfung des Potenzials vor allem dort realisiert werden, wo „besonders hoher Nutzen erzielt werden kann“ (ebd.), d.h. in innerstädtischen Kernbereichen mit hoher Verkehrsbelastung. Die Autoren stellen trotz der Nennung zahlreicher Vorteile des Fahrzeugkonzepts klar, dass, bedingt durch die physische Beschaffenheit des Fahrrads, für einen Großteil des Wirtschaftsverkehrs der Transport mit dem Lastenrad ausgeschlossen sei. Der Fokus dieser Fahrzeugkategorie liege also immer „auf eher kleinen, leichten Gütern (aber durchaus bis zur Größe einer Euro-Palette) bzw. dem Transport [...] über vergleichsweise kurze Strecken“ (ebd.:6).

Ähnlich sehen Wittenbrink et al. (2016) gleichermaßen Eignung und Limitation: Zwar sei die Ausweitung der gewerblichen Lastenradnutzung als geeignete Maßnahme für Basel zu sehen, „wenn auch berücksichtigt werden muss, dass der Velo-Verkehr immer nur in einer Nische tätig sein kann und keine grossen Aufkommen im Lieferverkehr übernehmen kann“ (ebd.:108).



Beim Lastenrad-Testprogramm für Münchner Gewerbetreibende (Fischhaber 2016) wurde festgehalten, dass ein großes Potenzial bestehe, Kfz-Fahrten mit Hilfe von Lastenrädern einzusparen. Die Nutzung bei den teilnehmenden Unternehmen war im Herbst allerdings deutlich geringer ausgeprägt als im Sommer, was als Indiz für die Saisonalität der Einsetzbarkeit dieses Fahrzeugkonzepts zu sehen ist.

Für die Paketbranche liegen Abschätzungen für das Mikrodepotkonzept von UPS in Hamburg und die Pilotanwendungen von DPD und GLS in Nürnberg vor:

- In Hamburg werden laut UPS bis zu zehn Zustell-Lkw ersetzt (Purkarthofer 2018). In der wissenschaftlichen Begleitung wird die verkehrliche Entlastung auf 4.500 – 6.000 km p.a. für jedes der vier Zustellgebiete abgeschätzt (Ninnemann et al. 2017). Die daraus abgeleitete Reduzierung der CO<sub>2</sub>-Emissionen liegt bei mindestens 50 %, ähnlich bei den NO<sub>x</sub>- und Feinstaub-Emissionen. Die Lieferung und Abholung des Containers durch einen Lkw verhindert allerdings größere Einsparungen (ebd.).
- Die Evaluatoren der Nürnberger Studie (Bogdanski et al. 2017) nennen auf Basis von nicht näher definierten eigenen Berechnungen ein Verlagerungspotenzial von 30 % des gesamten Sendungsvolumens der KEP-Branche in Großstädten über 100.000 Einwohner, wobei in städtischen Zentren dieser Anteil noch „weit höher“ liege (ebd.:124). Da rund 67 % der Bevölkerung Deutschlands in Großstädten über 100.000 Einwohner leben (Destatis 2019), entspräche dies einem Volumen von rund einer dreiviertel Milliarde Pakete jährlich. Beim konkreten Einsatz der Schwerlastenfahräder bei DPD und GLS in Nürnberg wurden sieben konventionelle Zustellfahrzeuge durch acht Lastenräder unter Einsparung von rund einem Viertel der Treibhausgase und Luftschadstoffe substituiert.

Im DLR-Forschungsprojekt WIV-RAD wurden Potenzialabschätzungen mithilfe von Daten der KiD 2010 und der Formulierung von drei Szenarien durchgeführt (Gruber et al. 2016). Die Ergebnisse (siehe Tab. 5) zeigen, „dass Verlagerungspotenziale für Krafträder, Pkw und leichte Nutzfahrzeuge bis einschließlich 3,5 t Nutzlast auf Lastenräder in größerem Umfang vorhanden sind. Gewerbliche Fahrradnutzung könnte bereits unter konservativen Annahmen (Szenario S1) ein Potenzial von rund 8 % der Fahrten des zu Grunde gelegten Wirtschaftsverkehrs und etwa 1 % der damit verbundenen Fahrleistung erschließen. Hierfür müssten Nutzer von Kraftfahrzeugen die Bereitschaft zeigen, Fahrten bis zu einer Länge von 5 km und Tagesfahrweiten bis zu 10 km mit dem Fahrrad zurückzulegen und dabei ein Gewicht von maximal 50 kg zu transportieren. Höhere Verlagerungspotenziale (13 % der Fahrten und knapp 2 % der Fahrleistung im betrachteten Wirtschaftsverkehr) ergibt das progressivere Szenario S2. Dies impliziert, dass Unternehmen und deren Angestellte eine erhöhte Bereitschaft zur gewerblichen Fahrradnutzung zeigen. Die Annahmen des Szenario S2 unterstellen eine zunehmende Elektrifizierung sowie eine Verbesserung des Lastenradangebots, d.h. eine Diversifizierung der Produktpalette zur Erschließung weiterer Märkte. Zur Realisierung der in Szenario S3 abgeschätzten Verlagerungspotenziale werden neben einer weiter gestiegenen Nutzungsbereitschaft gegenüber den Szenarien S1 und S2 auch Änderungen bei der Fahrzeugflottenzusammensetzung und Einsatzplanung unterstellt. Insofern können die Werte dieses Szenarios (23 % der Fahrten und knapp 4 % der Fahrleistung) als langfristige Zielvorgabe für den Fahrrad-Wirtschaftsverkehr, etwa im Jahr 2030, verstanden werden.“ (Gruber 2016:3)

Tab. 5 Abschätzung des Verlagerungspotenzials im Rahmen des Projekts WIV-RAD (Gruber & Rudolph 2016:52, eigene Berechnung auf Basis der KiD 2010)

	Verlagerbare Fahrten	Verlagerbare Fahrleistung
<b>Szenario 1: Konservativ</b>	8,0 %	0,8 %
<b>Szenario 2: Gesteigerte Nutzungsbereitschaft</b>	13,3 %	1,6 %
<b>Szenario 3: Maximalpotenzial</b>	22,6 %	3,6 %

Die ökologischen Entlastungen (Minderung von klimawirksamen Gasen und Lokalemissionen wie Stickoxide und Feinstaub) werden in der Literatur zumeist basierend auf Fahrleistungseinsparungen von Fahrzeugen mit Verbrennungsmotoren berechnet. Die zu Grunde gelegten Emissionsfaktoren sind dabei beträchtlich, da die Fahrten häufig vom innerstädtischen Stop-and-go-Verkehr geprägt sind. Fischhaber (2016) schätzt die Höhe der Vermeidung bspw. auf 267 g CO<sub>2</sub>-Äquivalente je Kilometer substituierter Pkw-Fahrleistung.

Eine Pariser Fallstudie (Koning & Conway 2014) zeigt ein beträchtliches CO<sub>2</sub>-Minderungspotenzial durch den Einsatz von Lastenrädern im Wirtschaftsverkehr. Allerdings sind auch hier die absoluten Zahlen der bisherigen Nutzung sehr gering: Die Autor\*innen weisen eine bislang realisierte tägliche Einsparung von nur 3,3 t CO<sub>2</sub>-Äquivalente im Jahr 2014 gegenüber 2001 aus, da sich die Zahl der Lastenradlogistiker im Pariser Umfeld in diesem Zeitraum auch nur von 2 auf 15 und die entsprechende tägliche Transportleistung von 88 auf 980 tkm erhöhte.

Innerhalb des EU-Projekts PRO-E-BIKE wurden die Umweltwirkungen von E-Fahrrädern und E-Lastenrädern im Wirtschaftsverkehr berechnet (Emilio et al. 2015). Die Auswertung fußt auf Daten von 40 Firmen (darunter u.a. Paketdienst, Speisenauslieferung, Pflegedienst) in sieben Ländern, welche insgesamt 76 E-Bikes gewerblich nutzten. Das mittlere CO<sub>2</sub>-Einsparungspotenzial wird mit 0,7 t CO<sub>2</sub>-Äquivalente pro Fahrrad und Jahr angegeben.

Die Literaturlage zu den Verlagerungspotenzialen weist Lücken und teilweise Widersprüchlichkeiten auf. Gründe hierfür sind:

- Der Begriff „Potenzial“ ist schillernd und mehrdeutig. Nicht alles, was theoretisch auf ein Lastenrad verlagerbar wäre, ist technisch machbar, wirtschaftlich sinnvoll oder sozial vermittelbar. Ein Großteil eines hypothetischen Maximalpotenzials ist aus den genannten Einschränkungen nicht umsetzbar.
- Lastenräder oder andere „kleine“ elektrische Fahrzeugkonzepte werden in den Erhebungen des Wirtschaftsverkehrs (bspw. der KiD 2010) nicht berücksichtigt, die Datengrundlage ist daher schlecht.
- Die Potenzialbewertungen beziehen sich auf einzelne Branchen bzw. Bereiche des Wirtschaftsverkehrs oder eng begrenzte Räume.
- Sie beziehen sich zum Teil auf Lastenradnutzungen, die im engeren Sinne privater Mobilität zugeordnet werden (Arbeits- oder Einkaufswege, Kindertransport).
- Sehr hohe/optimistische Potenzialzuschreibungen finden sich im Kontext von Förderkampagnen.

Für diese Arbeit sind die postulierten Verlagerungspotenziale – selbst wenn sie unterschiedlich sind – und die insgesamt positiv gesehene Umweltwirkung des Lastenrads – selbst wenn sie gering ist – wichtige Aspekte der Motivation, die Wirkungszusammenhänge der gewerblichen Lastenradnutzung tiefergründiger zu analysieren. Diese Arbeit will allerdings nicht grundsätzlich das Verlagerungspotenzial oder die Umweltwirkung erforschen.

Dennoch trägt diese Studie in Kap. 4.3.3 einen Ansatz zur datenbasierten Abschätzung des technischen Verlagerungspotenzials bei und wendet diesen am Beispiel der Kurierbranche an.

### **2.4.3 Verkehrliche Eignung**

Neben dem reinen Verlagerungspotenzial sind auch Aussagen zur verkehrlichen Eignung von Lastenrädern von Interesse, i. w. S. zur Einbettung des Fahrzeugkonzepts in das bestehende Verkehrssystem. Melo & Baptista (2017) untersuchten die verkehrlichen Potenziale von SEV (neben zwei- und dreirädrige Lastenräder auch vierrädrige Elektro-Kleinfahrzeuge) für die urbane Logistik. Dabei variierten sie den Anteil konventioneller Fahrzeuge, der durch SEV ersetzt werden soll, und erstellten mithilfe von Mikrosimulationen Kennwerte für den Verkehrsfluss. Im Ergebnis liegt der maximal sinnvolle Substitutionsanteil bei 10 %. Höhere Werte führen zu ungünstiger Verkehrsbelastung mit insgesamt höheren Fahrtzeiten.

Bei der Evaluation des Münchner Testprogramms wurde der Geschwindigkeitsunterschied zwischen Lastenrad und Kfz betrachtet (Fischhaber 2016). Unter Verwendung von simulierten Kfz-Fahrten wurde eine um 40 – 50 % niedrigere Geschwindigkeit der Lastenräder gegenüber Kfz ermittelt. Da der Forschungsbeitrag C (Kap. 8) eine ähnliche Methodik verwendet, werden die eigenen Ergebnisse im Zuge der Gesamtdiskussion (konkret in Kap. 9.3.2) explizit mit der Münchner Studie verglichen.

Conway et al. (2017) konnten bei einer Detailuntersuchung von zwei Lastenrad-Lieferfirmen in New York zeigen, dass die Fahrtzeiten von Lastenrädern bei Staubedingungen wettbewerbsfähig mit denen von konventionellen Lieferfahrzeugen sind.

Im Kontext der vorliegenden Arbeit wird „verkehrliche Eignung“ als Fahrtzeitenunterschied zwischen Lastenrad und konventionellen, verbrennungsmotorischen Fahrzeug operationalisiert, da die Fahrtzeit im Wirtschaftsverkehr, also im gewerblichen Kontext, ohne Zweifel einen der wichtigsten Parameter darstellt. Weitergehend hierzu siehe die Gesamtkonzeption in Kap. 3 und den Forschungsbeitrag C, in dessen State-of-the-Art-Teil (Kap. 8.2) weitere Befunde zur Geschwindigkeit von Fahrrädern und Lastenrädern im Vergleich zu konventionellen Fahrzeugen aufgeführt werden. Abschließend sei noch auf die Gesamtdiskussion des Themas „verkehrliche Eignung“ in Kap. 9.3 verwiesen.

### **2.4.4 Wirtschaftlichkeit**

Zur Evaluation des wirtschaftlichen Potenzials von Lastenrädern im Wirtschaftsverkehr gibt es mehrere Vergleiche der Gesamtbetriebskosten (TCO = Total Cost of Ownership) typischer Modelle mit konventionellen Pkw oder leichten Nutzfahrzeugen. Bei Leaserad (2015) wird bspw. ein E-Lastenrad der Bauform Long John einem Kleinwagen bei jeweils 10.000 km Jahresfahrleistung gegenübergestellt. Die Gesamtbetriebskosten je km liegen bei 0,08 € (Lastenrad) gegenüber 0,35 € (Pkw). Der VCD stellt einen Kostenrechner mit variablen Parametern zur Verfügung (VCD 2015).

Im Rahmen des Projekts „Ich ersetze ein Auto“ veröffentlichte der Autor gemeinsam mit Kolleg\*innen am DLR-Institut für Verkehrsforschung eine frühe TCO-Abschätzung für Fahrräder, E-Lastenräder und Pkw bei der Nutzung für Kurierdienstleistungen (Gruber et al. 2013). Hierbei wurden die Kosten für Anschaffung bzw. Leasing, Versicherung, Wartung, Ersatzteile und Verbrauch berücksichtigt sowie auf Einnahmeseite die real erzielten Erlöse je Kilometer für Fahrrad- und Autokuriere (basierend auf Auftragsdaten eines Berliner Kurierdienstleisters). Der Betrachtungszeitraum wurde auf drei Jahre festgelegt und das mögliche Verhalten von Kurieren auf E-Lastenrädern (hier: ELR) in drei Varianten abgebildet, siehe Fig. 8.

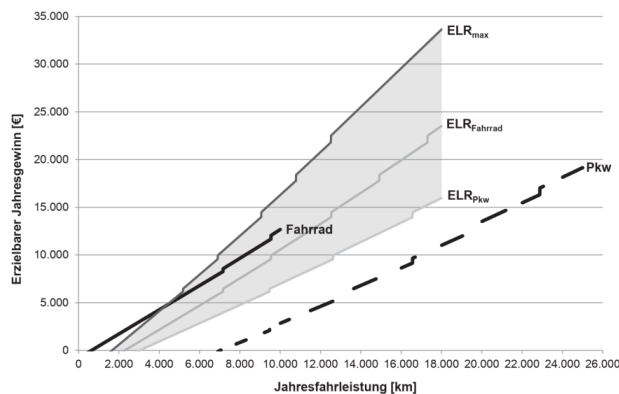


Fig. 8 Erzielbarer Jahresgewinn von Transportfahrzeugen bei dreijähriger Verwendung für Kurierdienstleistungen in Abhängigkeit der Jahresfahrleistung (Gruber et al. 2013:157)

Zur Interpretation von Fig. 8: Kuriere der Variante ELR<sub>max</sub> sind in der Wahl ihrer Aufträge gewinnmaximierend und erreichen damit ab 4.320 km Jahresfahrleistung (nach drei Jahren) die Gewinnzone gegenüber konventionellen Fahrrädern. Dies geschieht bei Kurieren der Variante ELR<sub>Fahrrad</sub>, deren Auftragswahl der von Fahrradkurieren entspricht, erst bei 11.560 km Jahresfahrleistung. Gegenüber Pkw ist die Nutzung eines E-Lastenrads logischerweise bei gleicher Jahresfahrleistung stets profitabler.

Im EU-Projekt PRO-E-BIKE wird die Wirtschaftlichkeit des E-Bike-Einsatzes im Realbetrieb anhand der Treibstoffkosteneinsparungen ausgewiesen. Diese werden auf im Mittel 302 € je E-Lastenrad und Jahr ausgewiesen (Emilio et al. 2015).

Fischhaber (2016) berechnet die monatlichen Kostendifferenzen zwischen Lastenrädern und diversen konventionellen verbrennungsmotorischen Fahrzeugen in Abhängigkeit vom Substitutionsgrad, d.h. vom auf das Lastenrad verlagerten Anteil der jährlichen Fahrleistung. Diese wird mit 12.000 km p.a. abgeschätzt. Beim Vergleich mit einem hochpreisigen Fahrzeug wie dem Mercedes Sprinter werden bereits bei geringen Substitutionsraten hohe Einsparungen erzielt, bei 50 % Substitution monatliche Einsparung von ca. 250-300 Euro. Bei einem deutlich günstigeren Fahrzeug wie dem Opel Corsa hingegen können bei einigen Lastenradmodellen selbst bei 50 % Fahrleistungs-Substitution Mehrkosten entstehen. Die Wirtschaftlichkeit von Lastenrädern ist abhängig von Fahrleistung (bzw. infolgedessen von den aktuellen Kraftstoffpreisen und -steuern), Transportbedürfnis und Differenz der Anschaffungskosten zwischen Kfz und Lastenrad. „Eine allgemeine Aussage zur Wirtschaftlichkeit lässt sich folglich nur schwer ableiten, sondern muss individuell betrachtet werden“ (ebd.:22).

Eine der ausführlichsten Auseinandersetzungen mit der Wirtschaftlichkeit von Lastenrädern ist die Dissertation von Maes (2017). Darin betrachtet er ein aktuell gebräuchliches Geschäftsmodell basierend auf Daten belgischer Kurier- und Paketdienste auf betriebswirtschaftlicher Ebene. Darüber hinaus wird der Ansatz durch eine wohlfahrtsökonomische Analyse ergänzt. Beim betriebswirtschaftlichen Vergleich von Lastenrädern gegenüber dieselbetriebenen leichten Nutzfahrzeugen liegen die marginalen Transportkosten je Stopp für das Lastenrad deutlich höher (4,61 € vs. 3,40 €). Folglich kann nicht von einem langfristigen Erfolg von Lastenrädern in der Standard-Paketzustellung – mit Ausnahmen von Nischen – ausgegangen werden. Die Lohnkosten sind hierbei der wichtigste Kostenfaktor, weniger wichtig sind Fahrzeugkosten oder Treibstoffkosten. Erweitert man den Untersuchungsansatz aber durch Internalisierung von externen Kosten, würden sich die Wettbewerbsvorteile deutlich in Richtung Lastenrad verschieben: Dann lägen die marginalen Transportkosten bei 4,52 € je Stopp für Lastenräder gegenüber 6,05 € für leichte Nutzfahrzeuge.

Zur Wirtschaftlichkeit der Pilotanwendungen in der Paketbranche existieren öffentlich nur wenige belastbare Aussagen:

- Zum Hamburger Modellvorhaben äußert sich Purkarthofer (2018:63), Vorstand Public Affairs bei UPS, zurückhaltend: „Tatsächlich kann der Einsatz von Lastenrädern [...] für Logistiker und die Verkehrsverhältnisse gleichermaßen vorteilhaft sein. [...] Die Ausgestaltung solcher Lösungen im Detail ist von den lokalen Gegebenheiten abhängig.“. Die Gutachter des Hamburger Projekts gehen davon aus, dass UPS keinen Verlust erzielt habe, nicht zuletzt in Anbetracht des positiven Werbeeffekts (Ninnemann et al. 2017:49).
- DPD und GLS geben indirekt an, dass das Modellvorhaben mit acht Lastenrädern in Nürnberg wirtschaftlich tragfähig gewesen sei (Bogdanski et al. 2017). Die im Rahmen der Begleitforschung simulierten Kosteneinsparungen liegen bei 10 – 20 % je Paket, aufgrund von unvorhergesehenen Ausfällen und Wartungsarbeiten konnte eine Kostensenkung in dieser Höhe aber real nicht erzielt werden. Das Fahrzeugkonzept E-Lastenrad könne also mindestens punktuell wirtschaftlich sein, es fehle aber noch an ausreichend stabilen und wartungsarmen Modellen für den beanspruchenden Charakter der Paketzustellung (ebd.).
- In den veröffentlichten Ergebnissen des Berliner Projekts „KoMoDo“ finden sich keine Aussagen zur Wirtschaftlichkeit (LNC 2019a, LNC 2019b).
- Bereits 2013 testete der Paketdienst TNT drei Monate lang die Lastenradauslieferung in Kombination mit einem mobilen Depot (Trailer) in einem 12 km<sup>2</sup> großen Gebiet im Zentrum Brüssels. Rund 1.300 Abholungen und 5.300 Auslieferungen wurden in dieser Zeit über den Versuchsaufbau abgewickelt. Die wissenschaftliche Evaluation beschrieb die Kosten als doppelt so hoch im Vergleich zur Standardauslieferung mit konventionellen leichten Nutzfahrzeugen (Verlinde et al. 2014). Zusätzliche Kosten entstünden neben denen für den Fahrradkurier auch für die Lkw-Fahrt des Trailers zum mobilen Depotstandort, den zusätzlichen Umschlag der Pakete auf die Lastenräder, die Sonderbehandlung von schweren oder sperrigen Paketen, die Instandhaltung der neuen logistischen Infrastruktur und die Miete der Parkfläche. Wenngleich die Autor\*innen mithilfe einer „multi-actor multi-criteria analysis“ (MAMCA) zeigen, dass nicht nur betriebswirtschaftliche Aspekte bei der Bewertung

zu berücksichtigen sind, können die zusätzlichen Kosten dennoch als ein zentraler Grund betrachtet werden, dass das Konzept nach Ablauf des Tests nicht operativ verstetigt wurde.

Bei einer weiteren Abschätzung der Wirtschaftlichkeit von Lastenrädern bei der Paketzustellung war der Autor neben den Kollegen Christian Rudolph und Gernot Liedtke beteiligt (Rudolph et al. 2018). Mithilfe eines „simplified economic aspatial model“ (SEAM) wurden die hypothetischen Kostenparameter von fünf Logistikkonzepten miteinander verglichen (siehe Fig. 9):

- Konventionelle Lieferfahrzeuge (Transporter), eingesetzt zur Standard-Paketzustellung (Overnight-Delivery), von einem suburbanen Depot (DC) startend: siehe Säule (1) in Fig. 9;
- Kleinere konventionelle Lieferfahrzeuge (Kastenkombis) zur Zeitfensterzustellung (Speed-Delivery) von einem suburbanen Depot: Säule (2);
- Schwerlastenfahräder zur Standard-Paketzustellung von einem urbanen Mikrodepot (hier: UCC): Säule (3);
- Long-John-Lastenräder zur Zeitfensterzustellung von einem urbanen Mikrodepot: Säule (4);
- Kleinere konventionelle Lieferfahrzeuge (Kastenkombis) zur Zeitfensterzustellung von einem Mikrodepot: Säule (5).

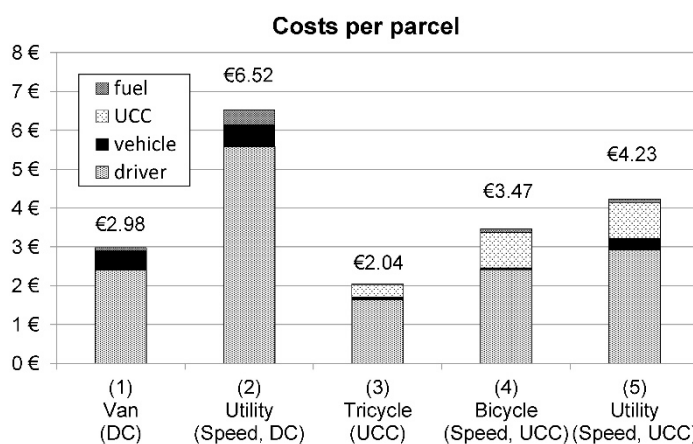


Fig. 9 Kosten je Paket bei verschiedenen Fahrzeug- / Logistikkonzepten (Rudolph et al. 2018:7)

Bei allen Logistikkonzepten nehmen die Lohnkosten den größten Anteil ein. Konzepte mit Lastenradnutzung seien im Simulationsergebnis kosteneffizienter als konventionelle Konzepte, sowohl bei der Standard-Paketzustellung mit 2,04 € zu 2,98 € je Paket als auch bei der Zeitfensterzustellung mit 3,47 € zu 4,23 € bzw. 6,52 € je Paket. Zwar weisen die Annahmen etwa zum operativen Radius und den Betriebskosten des Mikrodepots Unsicherheiten auf, dennoch lässt das Ergebnis die Implikation zu, dass sich bei entsprechender Nachfrage Logistikkonzepte mit Lastenrädern (insbesondere Zeitfensterzustellungen) technologisch und wirtschaftlich abbilden lassen.

Zu weiterführenden englischsprachigen Publikationen zur Wirtschaftlichkeit von Lastenrädern siehe Forschungsbeitrag C (Kap. 8.1). In Summe zeigt sich ein uneinheitliches Bild. Ein ökonomischer Einsatz von Lastenrädern im Wirtschaftsverkehr ist möglich, allerdings müssen zum Teil recht spezifische Bedingungen erfüllt sein. Darüber hinaus werden Transformationskosten, fehlende Erfahrung, das parallele Vorhalten von konventionellen Fahrzeugen und deren Interaktion mit den alternativen Fahrzeugkonzepten bislang nur lückenhaft berücksichtigt.

#### **2.4.5 Bisheriger Markterfolg**

An einigen Stellen kann der vorhandenen Literatur in Ansätzen eine Synthese von verschiedenen zuvor dargelegten Dimensionen entnommen werden.

Bogdanski et al. (2017:80) bewerten die beschriebenen derzeitigen Nachteile der Lastenradnutzung (etwa fahrzeugseitige Mängel) als besonders hemmend in einer Branche wie die KEP-Dienstleistung, bei der Prozesse hochgradig standardisiert und effektiv ablaufen müssen. Dennoch halten sie bei der Nutzung von Schwerlastenfahrrädern zur Zustellung von Paketen im Rahmen eines Mikrodepotkonzepts Effizienzgewinne gegenüber der ausschließlichen Nutzung von leichten Nutzfahrzeugen für möglich: Die „volumenabhängigen Nachteile“ können „durch Vorteile der Wendigkeit, Durchfahren von Einbahnstraßen in beiden Richtungen, Wegfallen der Parkplatzsuche, kürzere Wege zum Kunden usw. (...) wettgemacht werden“ (Bogdanski et al. 2017:123).

Im Rahmen einer von der EU-Kommission herausgegebenen Studie zum grenzüberschreitenden E-Commerce wird am Rande auf Lastenräder eingegangen (Dieke et al. 2019:279). Zwar seien niedrige Anschaffungskosten für ihre Verbreitung förderlich, allerdings seien die befragten Lieferdienste der Auffassung, dass für die Etablierung von Lastenradkonzepten noch viel Testen, Forschung und Erfahrung nötig sei. Ähnlich wie bei elektrischen Transportern fehlten geeignete und in Serie gefertigte Fahrzeugmodelle. Das Hub-Netzwerk müsse verändert und das erforderliche Wissen angeeignet werden sowohl von Fahrradmechanikern als auch von Firmen, die bereits Lastenradzustellungen anbieten. Eine tragfähige Fahrradinfrastruktur sei Voraussetzung.

Melo et al. (2014) stellen fest, dass die Wahrnehmung der Vorteile von Lastenrädern gegenüber Diesel-Transportern durch Flottenentscheider in Portugal nicht stark genug seien, um diese zur Adoption zu bewegen. Die Vorteile gegenüber herkömmlichen Fahrzeugen seien also insgesamt nicht groß genug.

Passend dazu betonen auch Wrighton et al. (2017), dass bei der Kommunikation von Vorteilen des Lastenrads nicht nur auf den Nachhaltigkeitsaspekt gesetzt werden dürfe, da dieser für die Kunden nicht ausreichend sei. Es müssten also potenziellen Käufern immer auch andere Vorteile deutlich gemacht werden (z.B. Convenience und Zeitersparnis).

So wird auch in Wrighton et al. (2017) in einem Gastbeitrag von Luciano darauf hingewiesen, dass zur Steigerung der Erfolgsaussichten eines großflächigen gewerblichen Einsatzes die technische Reife des Produkts selbst sowie seiner Einsatzsysteme über den Stand der Feldversuche hinaus gehen müssten: Die hohe Energieeffizienz des Fahrzeugkonzepts Lastenrad sei mit der relativen technologischen Simplizität des Fahrrads (etwa im Vergleich zu Drohnen) zwar gegeben. Dennoch müssen diese simplen Grundelemente im Sinne des „high low tech“ mit ausgereiften E-Bike-Technologien (belastbare Motoren, Akkus, Sensorik) und hochwertigen IT Tools (z.B. Tourenoptimierung) kombiniert werden.

## **2.5 Forschungslücke**

Die vorangegangene Übersicht zeigt, dass Lastenräder ein über hundert Jahre altes und zwischenzeitlich nahezu in Vergessenheit geratenes Fahrzeugkonzept für Transporte und Dienstleistungen im städtischen Wirtschaftsverkehr darstellen. In den letzten zehn Jahren ist zunehmend zu beobachten, dass mithilfe von leistungsfähigen E-Motoren das Fahrzeugkonzept neu aufgelegt wurde und mehrere Projekte zu Pilotanwendung durchgeführt wurden. Zudem erhalten E-Lastenräder hohe Potenzialzuschreibungen und werden seitens der Politik als ein förderfähiger Baustein für die Verkehrswende gesehen. Allerdings legen die niedrigen Nutzungszahlen trotz Wachstumstendenz keine baldige großflächige Verbreitung nahe. Obwohl das E-Lastenrad Einsatzpotenziale im städtischen Wirtschaftsverkehr aufweist, werden diese Potenziale bislang in der Praxis nur marginal ausgeschöpft.

Der Forschungsstand offenbart die oft auf eine begrenzte Datenbasis fußenden, lückenhaften und teilweise inkohärenten Erkenntnisse, die zur Abschätzung einer Machbarkeit in der Praxis nicht ausreichen.

Es fehlt eine systematische Strukturierung der Einflussfaktoren gewerblicher Lastenradnutzung und eine konkrete Machbarkeitsanalyse, ausgehend von realen Nutzer\*innen und Fuhrpark-Entscheider\*innen und in Abgrenzung zu konventionellen Fahrzeugklassen.

Im folgenden Kapitel wird ausgehend von dieser Forschungslücke und der leitenden Fragestellung die Gesamtkonzeption und methodische Vorgehensweise dieser kumulativen Dissertation vorgestellt.



### 3 Gesamtkonzeption und methodische Vorgehensweise

**Leitende Fragestellung** dieser Arbeit ist:

Wie kann die Machbarkeit des Fahrzeugkonzepts E-Lastenrad im städtischen Wirtschaftsverkehr anhand seiner konzeptionellen, verkehrlichen und wirtschaftlichen Potenziale und auf Basis der Einflussfaktoren seiner konkreten Nutzung abgeschätzt werden?

Um sich diesem Hauptziel nähern zu können, wurde ein **dreigliedriges Vorgehen** gewählt:

- Zunächst sollen in einem explorativen Teil die ersten Ansätze beobachtbarer gewerblicher Lastenradnutzung am Beispiel von Kurierdiensten dargestellt werden, um die Marktchancen dieses Fahrzeugkonzepts und die Akzeptanz unter den Fahrer\*innen zu beschreiben (**Forschungsbeitrag A**).
- Im zweiten Teil der Analyse steht die Strukturierung der verschiedenartigen Einflussfaktoren (Treiber und Hemmnisse) bei der Integration des Lastenrads im Wirtschaftsverkehr im Vordergrund, wofür ein qualitativer und ein quantitativer Ansatz durchgeführt werden. (**Forschungsbeitrag B**).
- Der dritte Teil thematisiert die operative Eignung des untersuchten Fahrzeugkonzepts, indem seine Fahrtzeiten einem konventionellen, verbrennungsmotorischen Fahrzeug gegenübergestellt werden. Damit verbunden ist auch das Ziel, mithilfe von Regressionsverfahren die Stärke der Determinanten zu bestimmen, die diese Unterschiede prägen (**Forschungsbeitrag C**).

Jeder der **drei Forschungsbeiträge** ist mit einer **Teilfragestellung** assoziiert (siehe Tab. 6).

*Tab. 6 Strukturierung der Arbeit in drei Forschungsbeiträge bzw. Teilfragestellungen*

Forschungsbeitrag	Thema	Teilfragestellung
<b>A</b>	Marktchancen und Nutzerakzeptanz	Wie erfolgversprechend ist das Fahrzeugkonzept „elektrifiziertes Lastenrad“ in einem Markt mit ersten Anwendern (Kurierdienstleistung)?
<b>B</b>	Treiber und Hemmnisse	Wie lassen sich die Einflussfaktoren auf die Nutzung von Lastenrädern im städtischen Wirtschaftsverkehr strukturiert beschreiben?
<b>C</b>	Verkehrliche Eignung	Wie groß sind die Fahrtzeitenunterschiede zwischen Lastenrädern und konventionellen Lieferfahrzeugen – und welche Faktoren beeinflussen diese?

Diese Arbeit beinhaltet **fünf Fachartikel** (siehe Tab. 7):

Der erste Forschungsbeitrag A basiert auf zwei Fachartikel (**A-1** und **A-2**), ebenso der zweite Forschungsbeitrag B (Fachartikel **B-1** und **B-2**). Der dritte Fachbeitrag C ist identisch mit dem Fachartikel C. Die Fachartikel A-1, B-1 und C sind in referierten Fachzeitschriften in Erstautorschaft veröffentlicht worden. Die Fachartikel A-2 und B-2 wurden als Konferenzbeiträge für die 9. bzw. 11. „International Conference on City Logistics“ eingereicht und dort einem Peer-Review-Verfahren zugeführt. Im Nachgang der Konferenz wurde die finale Manuskriptfassung in der Zeitschrift „Transportation Research Procedia“ veröffentlicht. Der Fachartikel A-2 wurde in Erstautorschaft und der Fachartikel B-2 in Koautorschaft verfasst.

Insgesamt trugen sechs Personen als **Koautor\*innen** zur Publikation der Fachartikel bei:  
Dr. Alexander Kihm, Viktoriya Kolarova, Prof. Dr. Barbara Lenz, Santhanakrishnan Narayanan,  
Dr.-Ing. Christian Rudolph und Lars Thoma.

Tab. 7 Zuordnung der fünf Fachartikel zu den drei Forschungsbeiträgen dieser Dissertation

Forsch.-beitrag	Fach-artikel	Autoren	Jahr	Titel	Zeitschrift	Einschlägig	Erst-autor
<b>A</b>	<b>A-1</b> (Kap. 4)	Gruber, Kihm, Lenz	2014	A New Vehicle for Urban Freight? An Ex-ante Evaluation of Electric Cargo Bikes in Courier Services	Research in Transportation Business & Management	Ja	Ja
	<b>A-2</b> (Kap. 5)	Gruber, Kihm	2016	Reject or Embrace? Messengers and Electric Cargo Bikes	Transportation Research Procedia	Bedingt ja: peer-reviewed für CityLogistics Conference 2015	Ja
<b>B</b>	<b>B-1</b> (Kap. 6)	Gruber, Rudolph, Kolarova	2015	Einflussfaktoren bei der Einführung des Lastenrads im urbanen Wirtschaftsverkehr	Zeitschrift für Wirtschafts-geographie	Ja	Ja
	<b>B-2</b> (Kap. 7)	Thoma, Gruber	2020	Drivers and Barriers to the Adoption of Cargo Cycles: An Exploratory Factor Analysis	Transportation Research Procedia	Bedingt ja: peer-reviewed für CityLogistics Conference 2019	Nein
<b>C</b>	<b>C</b> (Kap. 8)	Gruber, Narayanan	2019	Travel Time Differences Between Cargo Cycles and Cars in Commercial Transport Operations	Transportation Research Record	Ja	Ja

Die Fachartikel basieren auf primär erhobenen Daten aus **drei Forschungsprojekten**, die der Autor seit 2012 am Institut für Verkehrsforschung im Deutschen Zentrum für Luft- und Raumfahrt (DLR) durchgeführt hat (siehe Tab. 8).

Tab. 8 Entstehungskontext der Fachartikel im Rahmen von Projekten am DLR-Institut für Verkehrsforschung

Fachartikel	Projekttitel	Zuwendungs-/ Auftraggeber	Laufzeit	Funktion
<b>A-1</b> <b>A-2</b>	Ich ersetze ein Auto: Elektro-Lastenräder für den klimafreundlichen Einsatz im Kuriermarkt	BMUB	April 2012 bis Juni 2014	Projektleiter
<b>B-1</b>	Untersuchung des Einsatzes von Fahrrädern im Wirtschaftsverkehr (WIV-RAD)	BMVI	Januar 2014 bis Mai 2016	Projektleiter
<b>B-2</b> <b>C</b>	Ich entlaste Städte: Das Lastenrad-Testangebot für gewerbliche und öffentliche Nutzer	BMU	Januar 2017 bis August 2020	Projektleiter

Die **methodische Vorgehensweise** muss dem Ziel gerecht werden, die Teilfragestellungen zu beantworten und ein übergreifendes, ganzheitliches Bild zur Integration des Lastenrads im Wirtschaftsverkehr aufzuzeigen. Daher wird ein exploratives Vorgehen unter Verknüpfung von qualitativer und quantitativer Methodik gewählt. Wie häufig bei verkehrsgeographischen Fragestellungen, handelt es sich hierbei um „problemorientierte Forschung“, welche in einem Wechselspiel zwischen theoriebasierter Forschung und praktischer Umsetzung stattfindet (Bechmann & Frederichs 1996, Kagermeier 1999). Diese Art der Forschung kann durch ihre angewandten Fragestellungen zur Beantwortung aktueller gesellschaftlicher Herausforderungen beitragen.

Im Folgenden wird die **Konzeption der drei Forschungsbeiträge** erläutert.

Der **Forschungsbeitrag A** untersucht die Marktchancen eines neuartigen Fahrzeugkonzepts, dem elektrifizierten Lastenrad. Der explorative Beitrag fokussiert auf Unternehmen der Stadtkurierbranche, da in diesem verkehrlichen Teilmarkt bereits Beobachtungen einer kontinuierlichen und operativen Lastenradnutzung möglich sind. Kurier\*innen sind Pionier\*innen gewerblicher Fahrradnutzung. Der bestehende Wettbewerb verschiedener Fahrzeugkonzepte (konventionelles Fahrrad, Lastenrad, Pkw, leichtes Nutzfahrzeug), die logistischen Rahmenbedingungen und Anforderungen (zeitkritische Sendungen und persönliche Begleitung des Gegenstands vom Start- bis zum Zielort), die daraus abgeleiteten räumlichen Implikationen (viele Direktfahrten und geringes Bündelungspotenzial) und das im Vergleich zu anderen transportlogistischen Dienstleistungen hohe Preisniveau legen nahe, dass der Markt für urbane Kurierdienstleistungen prinzipiell für neuartige Fahrzeugkonzepte in Frage kommt.

Der Forschungsbeitrag basiert auf zwei Fachartikeln, die zueinander in einem engen Bezug stehen. Der Artikel A-1 gibt einen breiteren Einblick in die vorliegende Organisation des Markts für Stadtkurierdienstleistungen und leitet hieraus Einsatzchancen für das neuartige Fahrzeugkonzept E-Lastenrad ab, berücksichtigt aber auch Wahrnehmungen und Einstellungen der Entscheider\*innen und Fahrer\*innen.

Artikel A-2 beschäftigt sich dann tiefgründig mit den Fahrer\*innen, also der Berufsgruppe der selbstständigen Kurier\*innen. Ihre Entscheidungen haben im Rahmen des dezentral organisierten Stadtkurierdienstmarktes einen starken Einfluss auf die Verbreitung alternativer Fahrzeugkonzepte.

Der **Forschungsbeitrag B** widmet sich Faktoren, die positiven oder negativen Einfluss auf die Entscheidung von Personen oder Organisationen aufweisen, Lastenräder anzuschaffen bzw. gewerblich einzusetzen.

Auch dieser Forschungsbeitrag besteht aus zwei Fachartikeln. Der Fachartikel B-1 bietet einen Vorschlag zur Strukturierung der verschiedenartigen Einflussfaktoren. Der explorativen Ausrichtung entsprechend wurde methodisch eine Abfolge verschiedener qualitativer Analysetechniken angewendet und der Blick von den Kurierdiensten auf alle Branchen geweitet, in denen Fahrräder und Lastenräder genutzt werden könnten.

Zur Vereinfachung und Informationsverdichtung des breiten Feldes identifizierter Treiber und Hemmnisse wurde im Fachartikel B-2 eine Hauptkomponentenanalyse durchgeführt. Zusätzlich werden diese identifizierten Hauptkomponenten hinsichtlich ihrer wahrgenommenen Wichtigkeit quantifiziert.

Der dritte **Forschungsbeitrag C** ergänzt die bis dahin vorliegenden Erkenntnisse, indem er sowohl die rein quantitative Größenordnung als auch mögliche Ursachen von Fahrtzeitenunterschieden darlegt, die bei der Nutzung von Lastenrädern anstelle von konventionellen Lieferfahrzeugen auftreten. Der Fokus auf Fahrtzeiten bzw. ihren Differenzen liegt im direkten Zusammenhang zwischen Zeit und Kosten begründet – und damit einer der wichtigsten Determinanten für Entscheidungen im Wirtschaftsverkehr. Die Analyse basiert auf aufgezeichneten gewerblichen Lastenradfahrten, denen virtuelle Pkw-Fahrten gegenübergestellt wurden. Auf Basis von Modellschätzungen erfolgte daraufhin die Analyse der Einflussfaktoren hinsichtlich der Einflüsse auf die vorliegenden Fahrtzeitenunterschiede zwischen Lastenrad und Pkw. Das optimierte Modell wurde anschließend angewandt, um die Fahrtzeitendifferenzen für einen zweiten Datensatz mit realen Pkw-Fahrten sowie ein Szenario mit veränderten Verkehrsbedingungen zu berechnen.

Die in den folgenden Kap. 4 – 8 gezeigten fünf Fachartikel entsprechen mit vereinzelten Ausnahmen im Wortlaut und ihrem Aufbau den in den Zeitschriften veröffentlichten Versionen, allerdings wurde die Nummerierung der Kapitel und von Tabellen (Tab.) und Abbildungen (Fig.) sowie die Zitierweise entsprechend dem Gesamtdokument dieser Dissertation angepasst. Anpassungen sind mit Fußnoten markiert. Die Druckversionen der Fachartikel befinden sich im Anhang.

## 4 Fachartikel A-1: A New Vehicle for Urban Freight? An Ex-ante Evaluation of Electric Cargo Bikes in Courier Services

Johannes Gruber, Alexander Kihm, Barbara Lenz

Gruber, J., Kihm, A. & Lenz, B. (2014): A new vehicle for urban freight? An ex-ante evaluation of electric cargo bikes in courier services. In: *Research in Transportation Business & Management*, 11, 53-62. <https://doi.org/10.1016/j.rtbm.2014.03.004>

### Abstract

One possible strategy to tackle the negative effects of urban freight is the substitution of cars by electric cargo bikes for inner-city courier shipments. This paper determines whether there is a potential market for electric cargo bikes, how the current market is organized, how electric cargo bikes are perceived by bike and car messengers, and what factors drive their willingness to use them. We find that in terms of cost, payload and range, electric cargo bikes lie in between two existing modes (bikes and cars) that have a largely overlapping market. Vehicle choice is commonly made by freelance messengers, as many courier companies don't operate their own fleets. Therefore they can contribute only indirectly to the dissemination of electric cargo bikes by considering them in their operational management. Despite the fact that most messengers have not used an electric cargo bike before, it was generally regarded to be suitable for courier shipments. Using a binary logit model, we find that messengers' demographics, their professional practice as well as their attitudes and values have significant impacts on their willingness to use electric cargo bikes. Critical factors for actual implementation appear to be electric range, purchase price and publically available information.

*Keywords:* courier services; electric cargo bikes; user acceptance; binary logit model

### 4.1 Introduction

Technical innovations, particularly in vehicle design, will play a very considerable role in the future in reducing emissions, especially in urban areas. In combination with new concepts in the organization of mobility and transport, they can contribute significantly to greater sustainability in transport. Comprehensive overviews of efficient and sustainable strategies for last-mile deliveries have been given by Giuliano et al. (2013) and Browne et al. (2007). One of these strategies is the use of electric vehicles for urban freight (Van Duin et al. 2013). As the market for currently available electric cars, and especially larger electric vehicles, is still limited, some focus is being placed on introducing smaller electric vehicles such as electric cargo bikes (E-CBs). The use of these vehicles is currently being discussed as one interesting possibility of configuring urban transport more sustainably (Lenz & Riehle 2013). E-CBs are seen as having particular potential here, as they enable both greater loads and larger distances than is possible with the purely human-powered cargo bikes, tackling common disadvantages of cycle freight such as range, payload and driver fatigue (Transport for London 2009). For this reason, there is currently a whole series of projects in Europe testing whether or in what way (electric) cargo bikes can be used in a way that makes economic and ecological sense. Two fleet trials of cargo tricycles, both in combination with an urban micro-consolidation center, have proven successful in Paris (Dablanc 2011) and London (Leonardi et al. 2012).

Positive expectations are not universally shared, however. Analyzing the US situation, Giuliano et al. (2013) come to the conclusion that the use of alternative fuels and vehicles for inner-city deliveries is an urban freight strategy with only “low effectiveness” and therefore also only “medium applicability to [the] United States”. The differing estimation of the potential of cargo bikes in inner-city courier services doubtless reflects the massive difference between US and European inner-city structures (Le Galès & Zagrodzki 2006), where E-CB-suitable transport demand might only be similar in limited metropolitan core areas (Conway et al. 2011).

In all, however, there is hardly any knowledge regarding the potential and conditions of E-CB use in city-center commercial transport today. The European experience shows that a multitude of different conditions are to be taken into account when estimating the potential of cargo bikes. Among these, alongside the technical and infrastructural prerequisites, are the corporate structures on the supply side, the spatial and temporal demand patterns, and also the acceptance of the new transport mode on the part of companies and their drivers and riders. The latter also applies to drivers who currently use regular bicycles or cars for courier services, and thus belong to the group of potential E-CB users.

These various factors and the interactions between them will be described and discussed more closely in the following using the example of urban courier services. Courier services are seen as an appropriate sector for an in-depth ex-ante evaluation, as they are the most reliable, flexible and expensive segment of CEP (courier, express, parcel) services, operating with small-scale shipments in densely populated urban centers (Maes & Vanelander 2012, Glaser 2000, Witte et al. 2011). The E-CB reference model used – a competitor to the existing markets of bike and car shipments – is a 2-wheel vehicle as pictured in Fig. 10. This type of construction (so called “Long John”), with a cargo box between front wheels and handlebars, is generally favored by messengers for point-to-point shipments compared to tricycles (Riehle 2012).

The basis for this research is the empirical study of courier companies and individual messengers, with the aim of establishing and gauging the prerequisites and possibilities for integrating E-CBs in available corporate structures and transport services provision, and understanding the role of possible decision-makers concerning vehicle choice.

The article is structured as follows: following this introduction, we describe the data that we have gathered in answering the research question, and the methods we have used in evaluating these data (chapter 2). Chapter 3 contains the initial approximation for determining the potential of E-CBs. To this end, we analyze on the one hand trip patterns which we illustrate using the example of Berlin, and on the other hand the characteristics of the shipments made by the companies studied. In Chapter 4, we consider the current organization of courier services in inner cities; vehicle costs and company organization are at the forefront here. The fifth main chapter looks at the professional background of current bike and car messengers, their awareness of and acceptance of E-CBs, as these are the people, who would actually use them. In the process, we observe the influence of socio-demographic factors, current service practices, attitudes and values on the acceptance of cargo bikes. Acceptance is here defined as “willingness to use”. In order to determine the strength of the influencing factors, we have used binary logit models whose results we describe in chapter 6. The article closes with remarks on the implications of this research.



*Fig. 10 Example picture of a 2-wheel electric cargo bike (E CB) as used in the project “Ich ersetze ein Auto” by German courier companies<sup>6</sup>*

## **4.2 Research questions, data and methods**

This research is guided by the central question of whether there is a potential market for E-CBs (electric cargo bikes) in urban courier services. To answer this question, it is necessary on the one hand to understand the specific structure of shipments that are carried out by bike or by car; on the other we need to consider the acceptance of E-CBs by the bike and car messengers who would use this new mode. To this end, we have investigated how E-CBs are perceived by potential users (i.e. bike and car messengers), and what motives support or impede messengers’ willingness to adopt this mode of transport. Against this background, we have used an approach that relies on a series of various empirical data that we analyzed with descriptive statistical methods and a binary logit model.

Eight German courier companies provided quantitative data for research. All of them are among the three biggest market players in their home cities which are (in rank of size) Berlin, Hamburg, Munich, Düsseldorf, Leipzig, Bremen, Nuremberg and Mainz. The database provided (dataset 1) contains all trip data for one year of business (May 2011 to April 2012) for all modes of transportation, except for 2 companies who applied a regional filter (metropolitan area) before transferring the data (therefore Fig. 11 shows 6 business areas only). 752,334 single shipment distances (3‰ of the German courier services market, see Manner-Romberg et al. (2012)) were used for mapping the companies’ spatial extension. A core business area was defined as at least 1 pickup or 1 drop-off per week per zip code.

---

<sup>6</sup> Foto: Amac Garbe / DLR

For an in-depth analysis of courier shipments, one company based in Berlin was selected. The sample for this research was filtered by mode of transport and shipment type.

Regarding mode of transport, as an E-CB would be positioned between the markets of regular bicycle shipments and (passenger) car shipments, only these two modes were taken into consideration.

Shipments by small utility vehicles (vans) or other vehicles were not considered. In terms of shipment type, like most of the courier companies, two main types of services are offered: point-to-point shipments and overnight deliveries to any national or international destination, where the first and last mile is bridged by messengers. Only point-to-point shipments were considered (84% of all bike shipments and 86% of all car shipments), as overnight trip data records didn't allow a retracing of the messengers' route. Information concerning type, volume or weight of the transported good was partly manually coded into a new variable assessing whether the specific goods are feasible for transport in a typical cargo box on top of a 2-wheel E-CB with a load rate of up to 100 kg (with no parcel more than 25 kg) and a cargo box with a volume of 78 cm x 48 cm x 47 cm (176 l) as pictured in Fig.1. The final shipment-related data sample contained 59,501 car shipments and 88,391 bike shipments (dataset 2).

In order to aggregate daily mileages from the trip data records, shipments were aggregated to trip chains in a multistep process. Trips had to contain information about origin and destination (OD) addresses (which was geocoded by Nokia Maps) as well as the time stamps of pick-up and drop-off. Selected trips were bundled by individual messenger ID and date. Each bundle was then sorted chronologically to retrace the messengers' trip chain, resulting in ordered relations between pickup and drop-off locations. These OD-relations were routed using two road networks of Berlin (one for cars and one for bicycles), generated with OpenStreetMap (OSM) data as of July 2013. Finally, 28,312 single shipments (19%) were able to be transformed into trip chains, forming 2,383 daily trip chains by 69 bike messengers and 2,607 daily trip chains by 54 car messengers (dataset 3).

In order to gain qualitative understanding of the current organization of courier services, their employment and remuneration structure as well as type, cost and financing of used vehicles, CEOs, dispatchers and messenger supervisors of the eight German courier companies were interviewed in expert and group discussions.

To analyze the messengers' willingness to use an E-CB as a means of transport for their daily courier job, we conducted a survey among all 590 messengers of the eight companies involved in our research project. Between June and October 2012, 191 of them returned our questionnaire sufficiently filled out for detailed modeling, yielding a good return rate of 32%, roughly 8‰ of the German messenger workforce. For further analysis the sample (dataset 4) was divided into 92 car messengers (stating any combustion engine vehicle as their favorite mode of transport for courier services) and 99 bike messengers (stating bicycles or cargo bikes as favorite mode of transport).

We tested respondents' willingness to use E-CBs in a practical way by asking them if they would like to try one out in their job for three months. To reduce potential bias stemming from hastily considered acceptance or disapproval because of financial ramifications, we did not offer the tryout for free, nor did we charge the full cost; instead, we offered the participation for €35 per month as a compromise between necessary outlay and sufficient attraction.



The survey requested information about the respondents' socio-demographics, attitudes, courier practice and job satisfaction, as well as their assessment of E-CB technology and its potential impact.

To measure these variables' influence on the binary-dependent willingness-to-use variable described above, we employed a binary discrete choice model. This model has been successfully used up to the present day for many acceptance and adoption studies, in areas as diverse as energy (Liu et al. 2013), agriculture (Mariano et al. 2012), land use (Jongeneel et al. 2008) and especially transport (Ye et al. 2012, Holguín-Veras & Wang 2011) and technology forecasting (Cheng & Yeh 2011). Since we have applied the model in a classic and unmodified form, the reader is referred to Ben-Akiva & Lerman (1985) for details on the mathematical foundations.

### **4.3 The potential market for E-CB**

To answer the question of whether a new type of vehicle can be successful in the urban courier logistics market, it is essential to know the structures that are shaped by the demand for bike and car shipments today. This chapter presents the results of a data analysis of courier company trip records. First, the places of demand for bike and car shipments are visualized for 6 German cities, followed by a close-up perspective of central Berlin. Trip-related features such as shipment distance, weight/volume and time are examined for bike and car shipments. Finally, collapsing single trips into daily trip chains gives valuable insights about the necessary electric ranges.

#### **4.3.1 Distribution of bike and car shipments in urban areas**

The possibility of applying E-CBs to courier services depends on the existing structure of shipments and the presently used modes of transport, namely bicycles and cars. The analyzed structure of courier services in German cities is concentrated in densely populated core areas. Fig. 11 maps areas where the courier companies are active at least occasionally, both for shipments by car and by bike (using dataset 1). Also displayed are the city perimeters, covering urban areas between 892 km<sup>2</sup> (Berlin) and 98 km<sup>2</sup> (Mainz).

The area covered by bike messengers ranges from 48 km<sup>2</sup> (Leipzig) to 382 km<sup>2</sup> (Munich) with a mean of 170 km<sup>2</sup>. In Munich, the wider spread of bicycle deliveries is due to messengers using public transportation with their bike for long distances or living in towns neighboring the metropolitan area. Car messengers are active both in the city center and city outskirts or surrounding neighborhoods. But as the maps in Fig. 11 show in unison, car messengers cover the whole business areas of bike messengers, resulting in a large market overlap. The areas regularly covered by car messengers range from 320km<sup>2</sup> (Bremen) to 3,459 km<sup>2</sup> (Berlin) and have a mean of 1,466 km<sup>2</sup>.

Despite the wider areal spread of car shipments, both bike (99%) and car (82%) trips are mostly carried out inside the city perimeter. On a more detailed level, demand for courier shipments is highly concentrated in specific inner-city areas, as the following in-depth analysis of Berlin (using dataset 2) shows.

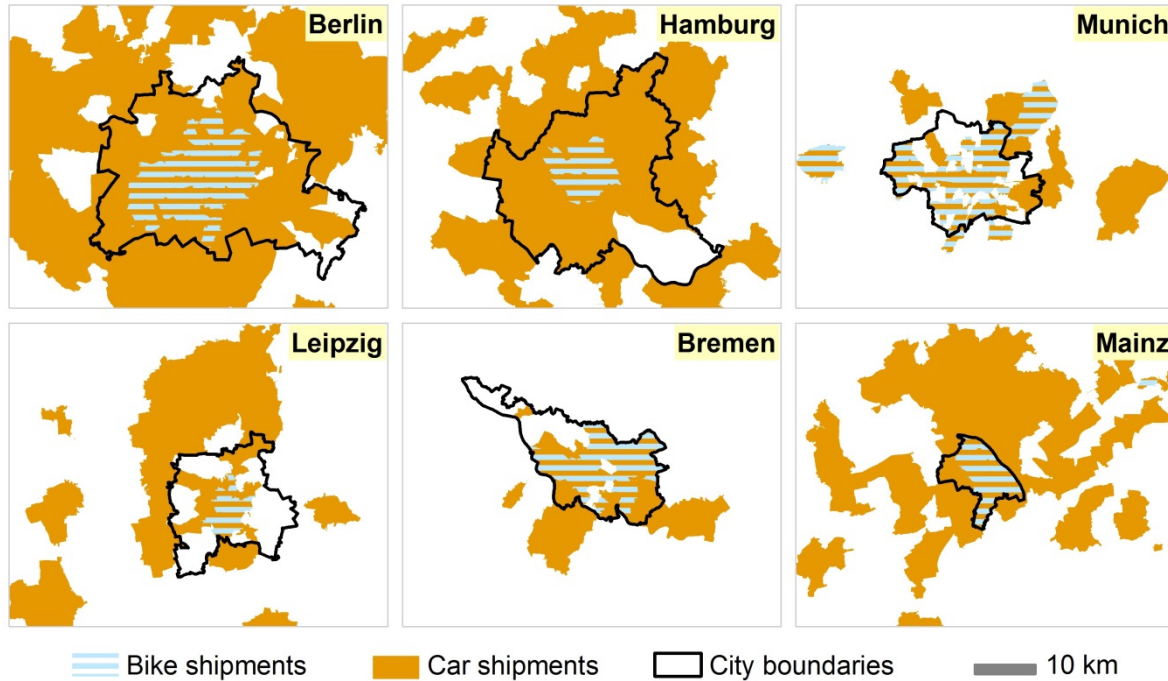


Fig. 11 Core business areas of 6 German courier companies in six major German cities

#### 4.3.2 A case study: Berlin

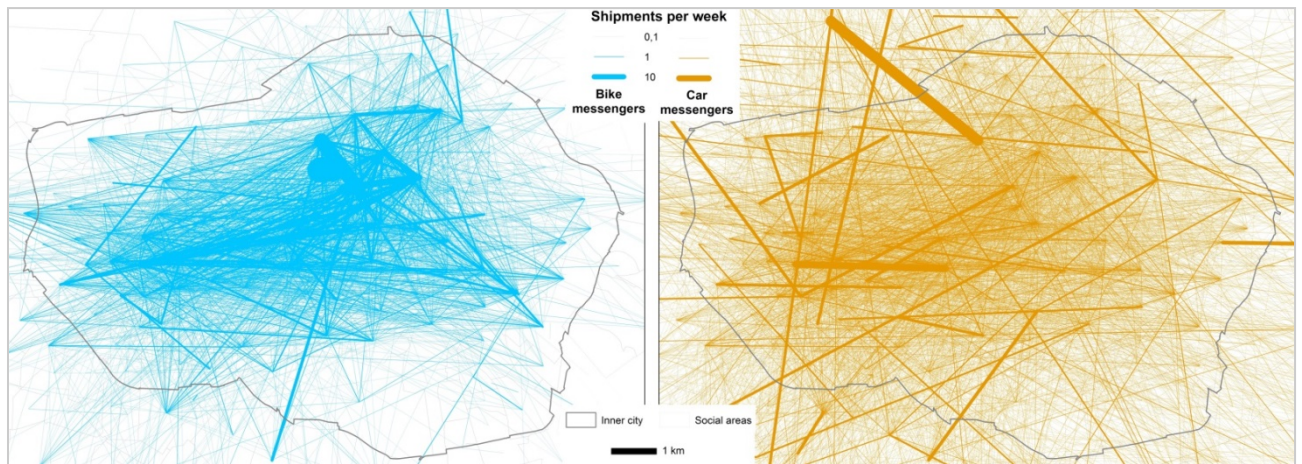
Berlin is the largest city in Germany by size (3.3 million inhabitants) and area (892 km<sup>2</sup>). Population density varies significantly within the city. In the inner-city area – a low emission zone, surrounded by a circular railway – one million people live on 88 km<sup>2</sup> (112 inhabitants per hectare). On the other hand, some of the outskirts contain large areas of forest or water surfaces and are far less densely populated (28 inhabitants per hectare). A high share of economic activity and traffic is accordingly located within the inner-city area. There are 77,100 places of business (9 sites per hectare), which comprises 46% of all places of business in Berlin (Infas 2011).

Fig. 12 shows the spatial patterns of observed shipments by mode for the inner city of Berlin. 83% of the pickup locations (origins) and 77% of the drop-off locations (destinations) are positioned within the inner city perimeter. Linking origins and destinations, we found out that two thirds of the shipment relations are inside the inner city.

Distinguishing by mode, bike shipments are more concentrated than car shipments: 85% of the bike shipments have origin and destination within the inner city, 11% link areas inside the inner city with other parts of Berlin and 4% of the relations lie completely outside the inner city. Car shipments, on the other hand, consist of 39% inner city relations, 34% inside-outside relations and 28% tangential relations outside the city center.

Still, in large parts of the most important inner city business areas, the markets for the two modes overlap to a high degree. Inner-city demand is concentrated in the “Mitte” borough where many public facilities and business-related services are located. Demand stretches mainly from the former center of East Berlin to the so-called City-West in the neighboring borough of Charlottenburg. Being a polycentric city, however, there are several other attraction points with high densities of offices, retail

and healthcare services. Consequently, almost the whole inner-city area shows an interwoven network of OD-relations. In contrast, a high degree of demand outside the city center arises from singular locations, i.e. warehouses of key account costumers.



*Fig. 12 OD-relations of courier shipments by bikes and cars in central Berlin*

#### 4.3.3 Key features of courier shipments: distance, weight/volume, time

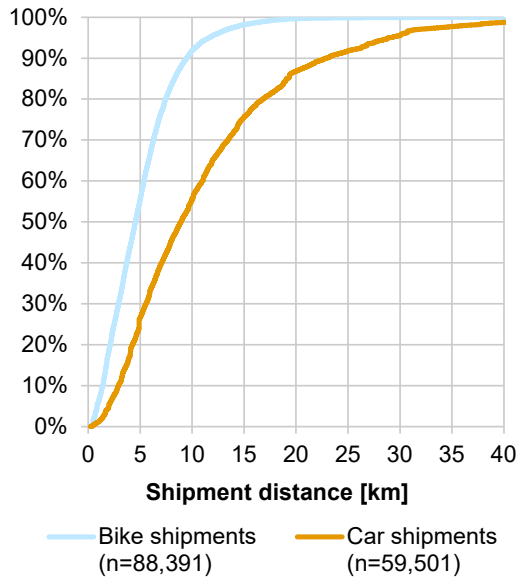
Besides this spatial expansion of courier services, we investigated further differences between the two modes and the resulting consequences for potential E-CB use: shipment distance, goods weight/volume and the temporal attributes of courier services demand.

Contrary to express or parcel deliveries, the courier market is characterized by a high share of short-distance trips. Mean distance for bike shipments in Berlin is 5.1 km, against 11.3 km for car shipments. Fig. 13 shows the distribution of distances up to 40 km (99.5% of the sample) for bike and car shipments. Both distributions are positively skewed, i.e. having many cases between 0 km and a certain upper threshold, followed by a decreasing amount of shipments at a variety of longer distances. 92% of the assignments carried out by bikes and 56% of those carried out by cars have 10 km or less shipment distance; 99% of the bike shipments and 87% of the car shipments are shorter than 20 km. It seems reasonable that messengers on an electrically-assisted vehicle such as an E-CB would also accept shipment distances of up to 10 km or 20 km.

Besides shipment distance, the goods' weight and volume might also determine the competitiveness of different modes in courier services. If weight and volume were the only limiting factors, all bike shipments and 85% of the car shipments could be carried by E-CBs with a cargo box of 176 l, as shown in Fig. 10.

Assuming a maximum shipment distance threshold at 10 km, and only taking into account goods that fit by weight and volume into the cargo box, the technical potential of E-CBs can be derived: 42% of the car shipments would be substitutable by E-CBs. This share accounts for 19% of the mileage that is today generated by cars. A threshold of 20 km maximum shipment distance would extend this potential to 68% of all car shipments and 48% of the resulting mileage.

Courier shipments might underlie specific temporal constraints as companies allow their clients to specify a precise delivery window. 12% of the bike shipments and 18% of the car shipments are labeled as time-sensitive in this sense. Motorized modes of transport might therefore be seen as more trustworthy when it comes to meeting precise delivery windows. Interestingly, the mean cruising speeds of the two modes differ only slightly: 17.3 kph for car shipments and 15.9 kph for bike shipments. As pedal electric vehicles (Pedelects) are allowed to be electrically assisted up to 25 kph, it seems possible that a similar cruising speed can be achieved by E-CBs to meet the markets' temporal constraints.



*Fig. 13 Bike vs. car shipments: cumulative frequencies of single shipment distances*

One obvious difference between car and bike is the exposure to weather. However, we found no substantial fluctuations concerning the amount of car and bike shipments and especially their difference throughout the year. Similarly, demand for bike and car shipments runs very much in parallel throughout the day. For users of the inner-city road network, traffic hours may be relevant in selecting the best mode of transport. However, during the most congested times (weekday rush hours from 6 to 9 a.m. and 4 to 6 p.m.) when cars might be disadvantaged due to many commuters, only one sixth of bike and car shipments take place. The main business hours for bike (82%) and car (79%) messengers are regular office hours and the time after the evening rush-hour, when the road network has a medium usage (weekdays 9 a.m - 4 p.m. and 6-8 p.m). Weekend deliveries are negligible for practical purposes.

#### **4.3.4 Duration and daily mileages of courier trip chains**

As seen above, bike messengers deliver goods over a shorter distance than car messengers which allows them to manage more shipments per day. Using dataset 2 (single trips), the mean number of shipments per day by bike messengers is 9.4 and 6.4 by car messengers, respectively. In the following results from dataset 3 (aggregated trip chains) will be used. Here we observed smaller means: 6.4 daily shipments for bike messengers and 5.0 for car messengers, respectively. This is due to the exclusion of

trip chains without complete information on all trip attributes when aggregating from dataset 2 to dataset 3.

Independent of that the quantity of daily assignments in courier services is much smaller than usual figures in the parcel segment, where delivery tours can contain up to 200 parcels (Schumacher 2012). This is due to the types of flows (point-to-point shipments vs. round trips) and the employment structure. While parcel delivery companies often operate with full-time employed drivers, a broad range of working times is common in the freelance-dominated courier market: one quarter of the bike (car) messengers work less than 2.9 (2.6) hours per day, while another quarter of the bike (car) messengers work more than 7.0 (7.3) hours per day. The mean aggregated time for daily trip chains is 5.3 hours for both modes. These values exclude the additional ways from home to the first pickup and homewards after the last delivery. There is a large variety in daily mileages, too. We observed a range of 1-166 km for bike trip chains (mean: 42 km) and a range of 1-253 km for car trip chains (mean: 66 km). 90% of the daily distances that performed by bicycles lie between 0 and 75 km in an almost uniform distribution (see Fig. 14).

It is important to consider daily mileages as this allows an assessment of which electric range would be best-suited for E-CBs in courier services. While the achievable electric range of E-CBs varies by many factors such as battery size, numbers of stops, degree of acceleration, physical support by the messenger, topography, payload and so on, typical values currently aimed at by manufacturers are between 50 and 100 km. Fig. 14 shows that 62% (99%) of the bike trip chains and 42% (78%) of the car trip chains are below 50 km (100 km) and would therefore be manageable by E-CB.

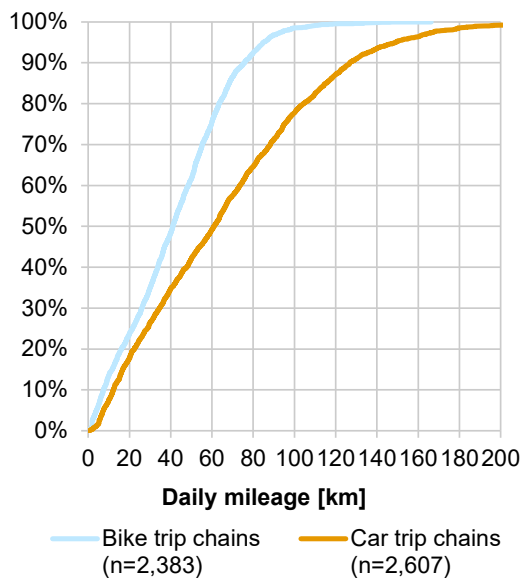


Fig. 14 Bike vs. car shipments: cumulative frequencies of aggregated daily mileages

Even though the analyzed deliveries are “point-to-point shipments”, only 57% of the total mileage is generated by transporting exactly one shipment from origin to destination. The rest of the mileage is generated by idle trips, i.e. a bridging distance without transporting any shipment (21%) or combining several assignments by transporting 2 or more shipments at the same time (22% of total mileage).

Surprisingly, these numbers don't vary by mode: Car messengers do not transport a higher number of shipments simultaneously than bike messengers. Hence the amount of payload seems to be of minor importance for the bundling of shipments.

#### 4.4 **Courier logistics organization today**

After the analysis of the market structure for urban courier services, this chapter offers a brief look into the operational management of how regional companies perform these services. To assess the potential of E-CBs for urban freight, we consider their cost and competing modes. Furthermore, the employment structure, pricing of courier services and dispatching of shipments to certain messengers need attention, as these processes might have an influence on the viability of E-CB implementation.

##### 4.4.1 **Vehicle cost**

As seen above, E-CBs are most likely to penetrate a market located between bike and car shipments. In inner-city areas there is a fluent transition between these two vehicles' markets, which overlap to a large extent. For logistics service providers, the cost of vehicles obviously is an important factor. Full-time bike and car messengers were therefore asked about the typical cost and form of acquisition, and the expenses for maintenance and fuel of their vehicles. This was contrasted with a finance model for a currently available 2-wheel E-CB. Tab. 9 compares the three modes and allows a rough evaluation of the vehicle-triggered operating costs for vehicle owners.

*Tab. 9 Common costs for purchase, maintenance and fuel for vehicles used in courier services*

	<i>Reference</i>	<b>Bike</b>	<b>E-CB</b>	<b>Car</b>
Purchase costs	<i>one-time</i>	€1000	€0	€0
Leasing (down payment)	<i>one-time</i>	€0	€1500	€0
Leasing (fee)	<i>monthly</i>	€0	€100	€300
Insurance	<i>monthly</i>	€0	€10	€80
Maintenance	<i>monthly</i>	€10	€50	€80
Spare parts	<i>monthly</i>	€30	€40	€40
Fuel	<i>per 100 km</i>	€0	€0.15	€10.50

While the cost of using bicycles and E-CBs for messenger shipments is naturally negligible concerning fuel costs, for car owners this is a significant part of their calculation. Following Tab. 9, an annual mileage of 10,000 km would add up to operating costs of €1,480 for bicycles, €3,915 for E-CBs, and €7,050 for cars. Both cars and E-CBs have to deliver more goods or over longer distances in order to reach a break-even point. The income opportunities are mostly triggered by the number of shipments and shipment distance, as we will show in the following chapter.

##### 4.4.2 **Courier companies' operational management**

While the courier segment accounts for 10% of all German CEP shipments (total: 2.5 billion shipments annually), its share in turnover is substantially higher, namely 22% of the total CEP turnover (€17.8 billion, Manner-Romberg et al. (2012). How is this business organized? Besides nationwide operators, there are a high quantity of regionally operating courier companies. It is

important to understand their everyday business in order to identify possible drivers and barriers for the establishment of a new vehicle. The key features of this industry can be summarized as follows:

- *Company size and background:* most regionally operating courier companies are micro entities (less than 10 employees) or small companies with 10-50 employees. The associated number of messengers, however, can be multiple times the number of employees. In this business, it is quite usual that members of middle and upper management or dispatchers have started as messengers themselves. All eight companies were founded in the beginning of the 1990s and suffered a significant downturn with the upcoming digitalization in the 2000s. Today, new markets are expanding, i.e. in healthcare and value-added logistics.
- *Employment:* the CEP market is an employment-intense industry. Different estimations about the total number of employed/freelance persons within Germany lie between 188,000 (BIEK 2013) and 254,000 (Manner-Romberg et al. 2012). The employment structure is complex and depends on subcontractors. Estimates for the couriers within CEP services put the number of car messengers in Germany at about 19,000 and the number of bike messengers at about 4,500-5,000. The majority of messengers of the eight analyzed courier companies work as freelancers.
- *Remuneration:* in the most self-organized form, messengers generate their earnings solely by trip revenue, while the courier company keeps a fee of between 25% and 40%. The company serves as a broker and deals with all customer affairs. The fee share might vary by mode (some companies offer their car messengers a fuel surplus), by experience, monthly revenue, willingness to do off-hour shifts etc. Some companies have mixed models with basic income plus provision-based payment.
- *Assets:* vehicles are largely owned by individual messengers. Only one company owns a car fleet, while some companies have a small number of light commercial trucks which are rented out to messengers for specific tours.
- *Pricing:* most commonly the price for a courier service depends on the mode desired by the customer, which determines the size of a base fee (often including 1-2 km) and variable cost by extra km. Surpluses apply for specified delivery windows, waiting time, off-hour-pickups, unusual goods etc. One company uses fixed cost by zip code relation and mode. We found a certain degree of smooth transition between the priced mode and the actual one, as messengers are allowed to accept deliveries regardless of the mode desired by the customer. In Berlin, 26% of the shipments with bicycle-pricing were actually transported by car. Vice versa, 14% of the car-priced shipments were done by bike messengers.
- *Customers:* almost all demand is B2B, as courier service is too pricy for most B2C needs. In Berlin, clients from five sectors account for 84% of the shipments of the company studied: media / arts (31%), general services (18%), health (12%), business-oriented services (12%) and banking / insurance (11%). Partly, there is a high dependency on key accounts, which,



reciprocally, often rely heavily on the courier companies' expertise, as the businesses have grown together.

- *Order acceptance*: orders are almost exclusively made by phone. While taking the order, either the customer desires a certain vehicle type or the call center agents makes a suggestion based on information about the type of shipment. However, in certain cases there is no knowledge on the type of good.
- *Dispatching of shipments*: a common form is an "open radio", where dispatchers call out the new shipment (i.e. by zip code relation) and messengers agree to the orders in a first-come first-serve principle (pull-allocation). Other orders are distributed directly (push-allocation). Sometimes whole areas are designated to certain messengers. Larger companies use several radios for different modes or IT solutions.

Generally, we discovered a market where structures evolve gradually and sometimes lack strategic management. Some companies started only with bike shipments and had to implement larger vehicles, especially as the importance of documents and media transports decreased drastically and goods became heavier. E-CBs can be a possibility to lower fuel and maintenance cost and still be able to transport heavier goods. This would allow better pricing structures and an advantage against competitors.

Acting innovatively is often seen as part of the urban self-image of courier companies. Hence they seem willing to implement new technology or adapt to customer demand. In order to achieve this, a new type of vehicle like an E-CB must be taken into account during the whole operational process. Existing customers might need specific information on this mode of transportation or new, eco-friendly customer groups could be targeted. Call center agents and dispatchers need briefing about the capabilities of the vehicle (e.g. payload). Parking spaces and charging infrastructure should be provided.

In the end, however, as long as courier companies do not operate with their own fleets, they can only pave the way for messengers' choice of using E-CBs or other modes of transport.

#### **4.5 E-CB acceptance: the messengers' perspective**

Individual messengers can be seen as a good proxy for the general acceptance of the courier market towards E-CBs. In fact, they have the highest influence in the type of vehicle used, as they use their own vehicles most of the time. Hence we find it important to understand this potential user group, its attitudes towards E-CBs and what drives them to actually implement these vehicles in their job.

##### **4.5.1 Socio-demographics of surveyed messengers**

While the job of messenger is clearly favored by men (93%), the business shows no dominating age group. 88% of the respondents are between 23 and 55 years old. Over this main age range we found an almost uniform distribution. Outside of it, the small tails span to 18 and 80 years.

The sample analyzed (dataset 4) contains both veterans and beginners of the business: 35% have been working as a messenger for more than 10 years, 13% started less than a year ago. Along the



heterogeneous age distribution there is also heterogeneity of career paths previous to the recent job as messenger. About one third of the sample, mostly bike messengers, entered straight after university, high school or their apprenticeship, another third worked in a qualified profession in another branch of industry. Some changed from unskilled labor or unemployment into the courier business, while only 10% had already been working as messengers before.

About half of the respondents earn net wages between €1,001 and €2,000. Thirty-seven percent achieve a lower income (up to €1,000 net wage), and 11% reported net wages above €2,000. The respondents have a higher educational level than the German population average (Destatis 2013), the degree of high school graduates (64%) is more than twice the share of all Germans 15 years and older. Since all respondents work for the 8 participating urban courier companies, they all live in large cities with more than 200,000 inhabitants.

When differentiating between bike messengers and car messengers, we find two very distinctive groups. Bike messengers are younger than car messengers (mean age = 35.3 vs. 48.2 years), less male-dominated (90% vs. 96%) and more highly educated (81% graduated at least from high school vs. 50%). However, only 4% of the bike messengers achieve a net income of 2,001 € and more (vs. 23% of the car messengers). This might be associated with the higher degree of part-time workers and the more usual habit of having another profit-oriented activity besides the messenger job.

#### **4.5.2 Current vehicles and professional practices**

Due to the high dependence on their transportation means and their high presence in densely populated urban areas, messengers can be seen as pioneers of commercial vehicle use. Accordingly, 91% of the respondents stated that they are interested in vehicle technology. In order to assess their perception of E-CBs, it is important to understand what types of vehicles they are currently using for courier services. Professional practices and routines might influence the will to adopt a new mode of transport

Respondents were asked about their preferred mode of transport on duty, where 52% stated a vehicle without combustion engine (46% bicycle and 6% regular cargo bike). This group is referred to as bike messengers in this research. Forty-eight percent of the respondents stated a combustion engine vehicle as their favored mode of transportation (30% mid-sized car / light commercial vehicle, 9% small-sized car and 9% SUV / transporter). These respondents were grouped as car messengers. The engines of car messengers are mostly powered by diesel (64%), followed by gasoline (25%) and CNG/LPG (10%). The mean age of their vehicles is 6 years.

It does not seem unusual for bike messengers to occasionally use a car for some transport tasks: 14% have used a car during the last year at least once. Regarding E-CBs, despite the fairly high rate (9%) of messengers that have already tested one for their work during the last year, only 2 respondents (1%) own it. Regular cargo bikes are used by 21% and owned by 7% of the respondents.

The most common ownership (91%) is to use self-owned vehicles; while all bike messengers own their vehicle, 12% of the car messengers use vehicles that they don't personally own (company fleet).

Over one third of the messengers visit their courier company's site several times a day. This fact could indicate that the necessary recharging periods for E-CB, i.e. during the night, are easily adaptable to

everyday routines. Currently only a minority of 6% also park their vehicle at the establishment site after duty, the rest choose parking spaces close to home in private or public parking spaces.

For most messengers, almost equally for bike and car messengers, it is possible to combine several shipments, either by pull- or push-assignment.

#### 4.5.3 Messengers' awareness of and attitudes towards E-CBs

In our survey, messengers of both types were confronted with statements about E-CBs in order to assess the awareness of this mode of transport and the possible users' attitudes towards it. Fig. 15 shows the statements of bike and car messengers.

Generally, messengers see a high potential for E-CBs in their actual urban surroundings. About 60% of both bike and car messengers "strongly agree" to this statement. A similar majority also sees E-CBs as a contributor to environmental protection.

Unity between these two groups also holds true for the item with the lowest rate of agreement: only one third of the sample stated that there is sufficient information available on E-CBs and their use. This may be a hint for the possible success of awareness campaigns.

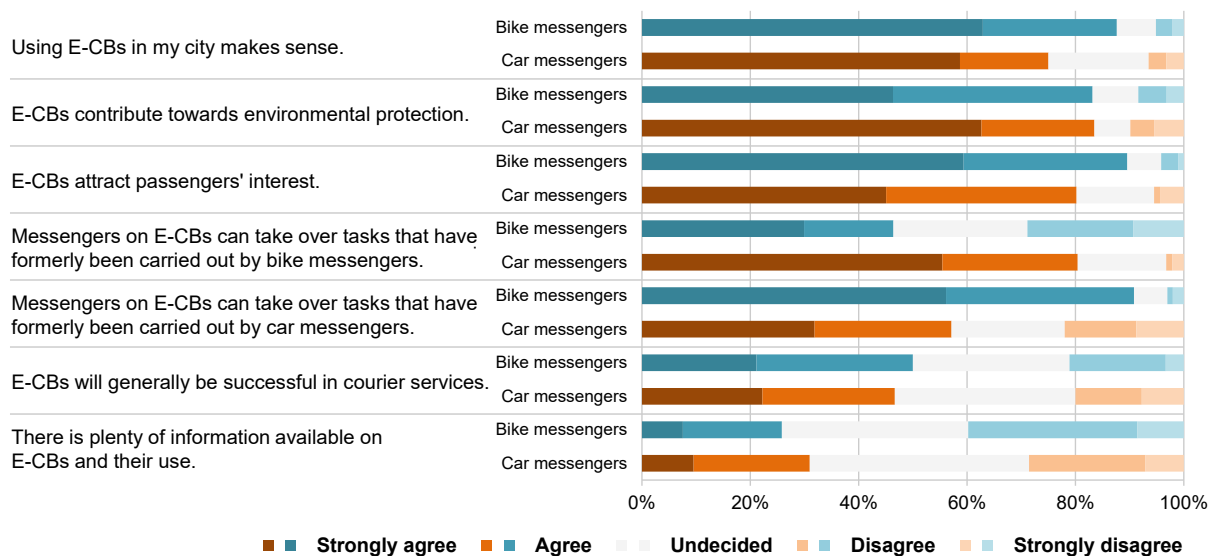


Fig. 15 General assessment of the usability of E CBs (n=188)

As described above, E-CBs are likely to be positioned between the present markets for bike and car shipments. It is yet to be seen which market will be penetrated more greatly. When asked whether messengers on E-CBs would take over bike or car shipments, we find an almost mirrored perception. Both subgroups tend to see their non-preferred mode of transport challenged by E-CBs.

Finally, about half of the sample either agrees or strongly agrees that E-CBs will be successful in courier logistics services and will have their future place in this business.

#### **4.5.4 Possible interactions with job-related features**

Naturally, the type of vehicle used to carry shipments is a profound feature of a messengers' job. Changing to another vehicle might therefore interfere with the persons' job image. It is critical to know what job-related indicators are important for the decision to work as a messenger today and which of these dimensions would change when switching to an E-CB.

Both bike and car messengers found flexibility and having one's own time management a very important aspect about their job (84%). Otherwise, the 2 groups have different profiles:

- For bike messengers, the possibility of doing exercise while working is of high importance (87%). Further important aspects are variety from day to day (69%), contact with people (67%), ecological footprint of their job (65%) and direct contact with clients (63%). They are less interested in the amount of income (importance: 42%), their job's image (37%) or a long-term job perspective (27%).
- For car messengers, income is a more important aspect (76%), whereas the jobs' ecological footprint (30%) and the possibility of doing exercise while working (26%) are seen as the least important features.

To anticipate possible interactions between mode change and job satisfaction, messengers were asked whether switching from their present vehicle to an E-CB would improve or reduce their satisfaction with job-related features. Both user groups see a slight decline in their satisfaction with the most important aspect (flexibility / time management), possibly due to the higher need to plan recharging and parking of the vehicle. Otherwise, again, we see differing assessments of E-CBs:

- Bike messengers expect a more satisfactory income and a slight decrease in the possibility of doing exercise while working. They don't see a deteriorating ecological footprint by using an E-CB.
- Car messengers see a change to E-CB as having a negative effect on their income. Technically, they would see E-CB as a chance to be less disappointed with their job's ecological footprint and to have a possibility of doing exercise while working. However, as these points have been pointed out as the least important job-related features, and income remains a main job-related feature, it appears highly doubtful that ecological or physical dimensions would motivate car messengers to switch to an E-CB.

### **4.6 Willingness to use an E-CB**

#### **4.6.1 Model results**

Would messengers actually change to an E-CB as their preferred vehicle of transportation? 111 of the 191 surveyed messengers (58%) showed interest in using an E-CB for their job and could therefore be described as willing to use an E-CB. This attitude was not only expressed by bike messengers (72%), but also by 43% of the car messengers which demonstrates a general openness of both user groups for this mode of transport.

Next to the differentiating in bike and car messengers, which is customary in the industry, all of the above-mentioned descriptive variables on demographics, job practices and job-related features, and attitudes and values were tested as to whether they contributed to predict messengers' willingness to actually use an E-CB for their services. For the important variables, Tab. 10 shows the comparison of means by messenger group as well as a binary logistic regression on the willingness-to-use E-CB as a dependent variable.

Note that the somewhat arbitrary specifications are the result of extensive trials to derive a theory-consistent model of significant influencing factors while minimizing spurious correlation and multicollinearity. We intentionally did not include the messengers' current mode of transport (car vs. bike) into the model for two reasons: First, this information is obviously correlated with other possibly powerful predictors (see comparison of means). Second, when integrating them as additional predictors to the presented specification, they do not contribute to explaining further variance. When comparing the coefficients, one can observe a general tendency of higher willingness-to-use if a predictor lies closer to the bike messengers' mean, but there are important exceptions: Gender, professional car usage, interest in technology and information awareness raise the probability if they lie closer to car messengers' mean values, while shipment combination and job image show a strong positive effect despite their low difference between the two groups' means.

In the first model (M1), only classic socio-demographic variables were considered: age, sex (base: male), income and educational level. All four variables show a negative connection with the messengers' willingness-to-use E-CBs. It decreases significantly with the increasing age of the messenger, in female messengers, in messengers with high income and in those with a low or medium educational level.

In order to achieve higher accuracy, model M2 adds seven variables on job-related background and practices.

Car ownership – independent of whether or not a car is used as a mode of transport for courier services – has a strong negative influence on the dependent variable (willingness to use an E-CB). Messengers that actually use cars for their services regularly seem to be more prepared to use an alternative mode of transport. The minority of messengers that today already prefer (non-electric) cargo bikes show a very high sympathy for E-CBs. A similar degree of sympathy is also expressed by messengers that claimed to be interested in vehicle technology.

Thirty percent of the respondents pursue at least one other profit-oriented activity besides their job as a messenger. This group has a more positive attitude towards E-CBs, possibly because of a lower income pressure. We found two more influencing job-related practices: bundling shipments and frequent visits to the site of the courier company.

E-CBs show higher requirements regarding parking and recharging infrastructure than bicycles or (conventional) cars. For the period of the field trial the courier companies provided space on their sites. This fact might be the reason why messengers that already visit the site of their employer at least once a day are more likely to use E-CBs.

Tab. 10 Variables that influence a messengers' willingness to use an E-CB instead of their present vehicle for courier services. Binary logit regression

	Means		Logistic regression models					
	Bike messengers	Car messengers	M1 coeff.	(p)	M2 coeff.	(p)	M3 coeff.	(p)
<b>Socio-demographics</b>								
Age	35.32	48.21	-0.04	(0.00)	-0.05	(0.01)	-0.04	(0.04)
Sex: female	0.10	0.04	-1.18	(0.06)	-1.63	(0.04)	-0.80	(0.34)
Net income: > €2,000	0.04	0.23	-0.94	(0.06)	-1.13	(0.05)	-1.56	(0.02)
Educational level: low/medium	0.19	0.50	-0.93	(0.01)	-1.36	(0.00)	-1.36	(0.00)
<b>Professional practices</b>								
Car ownership	0.24	0.88			-1.46	(0.01)	-1.52	(0.01)
Car use for courier service	0.14	1.00			1.03	(0.07)	1.34	(0.05)
Preference for cargo bikes	0.12	0.00			2.39	(0.04)	2.28	(0.07)
Several visits daily at company	0.41	0.28			0.90	(0.04)	0.81	(0.08)
Combining of shipments possible	0.97	0.91			1.17	(0.00)	1.41	(0.00)
Further profit-oriented activity	0.36	0.24			0.78	(0.07)	0.84	(0.07)
Interested in vehicle technology	0.87	0.95			2.39	(0.00)	2.45	(0.00)
<b>Attitudes and values</b>								
"There is plenty of information available on E-CBs." (I strongly agree.)	0.07	0.09					1.74	(0.06)
"E-CBs attract passengers' attention." (I strongly agree.)	0.58	0.45					0.93	(0.04)
"The possibility of doing exercise while working is important."	0.87	0.26					1.21	(0.02)
"The image of my job is not important."	0.37	0.35					1.00	(0.03)
"I am dissatisfied with the ecological footprint of my job."	0.02	0.28					1.37	(0.03)
N	99	92	191		191		191	
Constant			2.75	(0.00)	0.04	(0.97)	-2.27	(0.06)
Pseudo R <sup>2</sup> (McFadden)			0.12		0.30		0.39	
Log likelihood			-114		-91		-79	
Hit ratio			67%		76%		81%	

Besides socio-demographics and professional practices, the most comprehensive model M3 adds five variables on attitudes and values that have been collected during the messenger survey. M3 delivers the highest hit ratio (81%) to predict the willingness to use E-CBs. There is a strongly positive association towards E-CB use among respondents that assess existing information on E-CBs as sufficient, raising the importance of awareness campaigns. Several of the above-mentioned job-related indicators also showed significant associations. Messengers who find it important to have the possibility of doing physical exercise during their job stand in favor of E-CB use. The same holds true for the subgroup of messengers that do not find the image of their job an issue of importance.

Interestingly, drawing attention from people on the street has nonetheless a positive effect on E-CB adoption. Finally, 15% of the respondents are dissatisfied with the ecological footprint of their job. This attitude is quite strongly associated with the will to switch to an E-CB.

All three models consist of significant coefficients, indicated by the corresponding p-values.

As mentioned above, several further dimensions proved no significant association with the measured willingness-to-use E-CBs, among them, the specific courier company of the respondents, their degree of experience in this job, the preferred type of vehicle parking, and, interestingly, also the annual driven mileage. Thus the assessment of this mode of transport is made in relative independence of one significant cost factor. Indirect influence, however, might be observed in the significant variables of income and further profit-oriented activities.

#### 4.6.2 Vehicle assessment

In a final step we asked all messengers that expressed their interest in using an E-CB for their job to assess the importance of 13 vehicle-specific characteristics. A picture and the technical details of the 2-wheel E-CB pictured in Fig. 10 were given as input. After asking about general importance, these aspects were rated in their anticipated practicability (respondents stated that they had “no doubt” about a specific feature, e.g. speed).

Bike and car messengers show a similar assessment of these items, therefore their joint statements are pictured in Fig. 16.

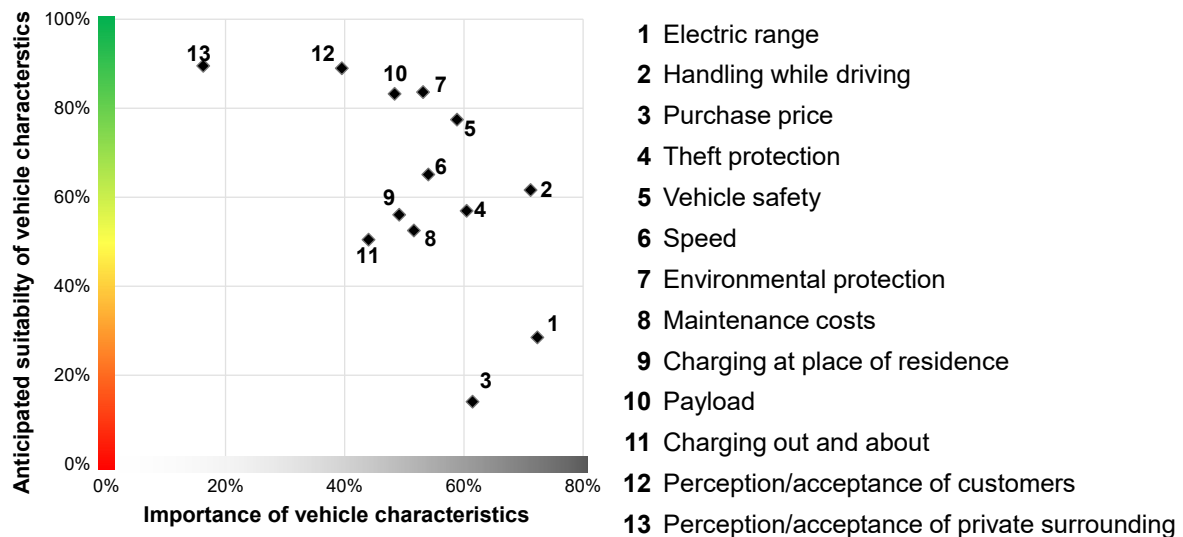


Fig. 16 Relevant characteristics of E CBs (n=127)

A prominent exception is electric range, which at the same time is one of the most important features. For car messengers, electric range is more important (79% vs. 66%) than for bike messengers. At the same time, they find electric range less likely to be suitable for their needs (19% vs. 37%). The electric range can be an advantage for driving comfort. At the same time, however, as batteries are a costly component, the electric range might be a potential obstacle for the acquisition of an E-CB as purchase

price is the item that is seen as the most critical. A trade-off between electric range and purchase price can be a barrier to a quick diffusion among messengers.

Car messengers also expressed more doubts about theft protection and payload. More unity between both groups was found for other vehicle-related topics such as convenient handling while driving and general vehicle safety (e.g. stability of frame) or speed. All these aspects are relevant for a purchase decision and rated with a high degree of suitability. E-CBs are largely seen as being environmentally friendly. Charging infrastructure at home or out and about and acceptance by customers and peers are aspects of minor importance and good suitability.

#### **4.7 Research Implications**

While courier services are a small segment compared to other logistics segments, we find a substantial amount of demand for these high-quality transport services, especially in urban core areas with high economic strength. During daytime bike or car messengers are a common picture on European inner city streets. Car and bike messengers are in direct competition, as their markets largely overlap - spatially, temporally and by type of goods. A car's maximum payload is rarely needed for small-scale deliveries such as media products, documents, spare parts or laboratory samples.

E-CBs are an innovative mode of transport that could be used for courier shipments. As they are positioned between bikes and cars in terms of cost, payload and range, a potential market does exist. It is most likely that E-CBs will have their greatest potential in urban areas, successfully facing problems like congestion and limited access areas due to environmental zones or delivery period restrictions. It is yet to be seen which of the existing markets for bike and car shipments will be penetrated by E-CBs, or even if a new market for this specific vehicle can evolve. Further research might answer in how far E-CB use will be fostered by general trends in the CEP market like the growth of B2C deliveries, micro-consolidation or the demand for high-quality logistics services such as same day delivery.

Regional courier markets are characterized by small and medium companies where structures evolve gradually. Keeping old routines (i.e. for pricing or dispatching) can be barriers for a dissemination of E-CBs. On the other hand, innovators have a possibility to stand out from the logistics mass markets by targeting new customer groups, implementing cargo bikes in their operational management or even investing in their own E-CB fleet.

Today, vehicle choice is made in a decentralized manner by individual messengers who work as freelance subcontractors for courier companies. Their assessment can be seen as a good proxy for general E-CB-acceptance in this industry. While certain characteristics are highly alike among messengers (predominantly male, technology-oriented, high demand for job flexibility), we detected heterogeneity regarding other dimensions such as age, educational and professional background, working hours, attitudes towards environment and exercise, but certainly also the preferred mode of transport.

The overall positive anticipation of the suitability of E-CBs for courier services differs only little between bike and car messengers. A majority regard this vehicle type as highly competitive for delivery tasks in their specific urban surroundings, which include 7 of the 15 biggest German cities.

Furthermore, messengers see E-CBs as an opportunity for generating public attention (and possibly new customers) and contributing towards environmental protection.

Producers of E-CBs should be aware that messengers see a deficit in information. In line with most other current research, electric range and purchase price are seen as the main areas of concern. These doubts of a pioneer user group like messengers could slow down quick E-CB diffusion.

Unlike in other branches of commercial transport where mode choice is the result of highly optimized processes, in courier services different modes compete in a very similar market and personal dimensions such as socio-demographic background or lifestyle influence the decision for a certain vehicle.

If E-CBs are to make a contribution to a more-sustainable urban transport, future research will have to show which conditions, incentives or regulations are needed to motivate their use by operators and drivers.



## 5 Fachartikel A-2: Reject or Embrace? Messengers and Electric Cargo Bikes

Johannes Gruber, Alexander Kihm

Gruber, J. & Kihm, A. (2016): Reject or Embrace? Messengers and Electric Cargo Bikes. In: *Transportation Research Procedia*, 12, 900-910. <https://doi.org/10.1016/j.trpro.2016.02.042>

### Abstract

One of many approaches to react to the challenges faced by urban freight can be the introduction of electric cargo bikes as an environmentally friendly mode of transport for courier deliveries. Since this market consists of highly decentralized decision-making structures, it is important to characterize the individuals involved and their perceptions in order to estimate market potentials and identify barriers to market uptake. To achieve this goal, we use information from a nationwide survey to draw a picture of the messengers involved as well as to model a binary decision of innovation rejection. The results indicate a group of people close to the general population but with certain particularities regarding gender, education and work style. Their attitudes towards technology are rather positive but their actual adoption of electric cargo bikes shows a much more heterogeneous pattern based on socio-demographics, job circumstances and personal characteristics.

*Keywords:* courier logistics; electric cargo bikes; technology adoption; binary logit

### 5.1 Introduction

Like every other area of passenger and goods transport, urban freight is facing the challenges of ever-growing demand and increasing scrutiny towards its negative externalities. Local and climate emissions, noise and safety are becoming the focus of a search for improvements and alternatives to “achieve essentially CO<sub>2</sub>-free city logistics in major urban centers by 2030”, as formulated by the European Commission Whitepaper (European Commission 2011). In order to achieve these goals, cities need to push forward their transformation exploring new ways of organizing goods transport as well as wholly new transportation modes.

One possible contributor to more effective and environmentally friendly city logistics schemes is the use of cargo bikes for the last mile of deliveries (Holguín-Veras et al. 2014, Browne et al. 2011, Lenz & Riehle 2013), often enhanced by electrically assisted drivetrains. Cargo bikes possess many advantages for commercial use, like low operating cost, less driver fatigue, higher payload, and environmental benefits (Transport for London 2009), rendering them especially suitable for courier logistics with a high share of small-scale short distance shipments in metropolitan centers or when embedded in innovative logistics systems such as micro-consolidation centers (demonstrated in London by Leonardi et al. (2012)) or mobile depots (e.g. in Brussels as shown by Verlinde et al. (2014). In Paris, an increasing number of innovative companies are starting to use cargo bikes for short-distance deliveries (Dablanc 2011), resulting in strong growth of this currently niche market (Koning & Conway 2014). The exact market size remains unclear, mostly due to incomplete statistics about two- or three-wheelers used for freight transport. Among the 3.8 million bicycles sold yearly in

Germany, the number of electric cargo bikes can only be estimated around a 4-digit number (ZIV 2014).

In order to explain the current market situation as well as to estimate its future potential, several assessments (Verlinde et al. 2014, Maes 2014) have shown a repeating pattern: Cargo bikes prove to be a reliable and climate-friendly alternative to LCVs, but are little embraced by companies due to their unfavorable economics. While a total welfare approach including externalities would yield a positive net worth of electrification, a business economics perspective without including externalities shows up the well-known challenge of electric drivetrains, as their higher investment and setup expenses is not offset by the lower variable cost per kilometer. Hence, other motivations appear to be complementary in the decision to adopt electric vehicles.

This adoption process has been the focus of interest in many studies concerning electric vehicles in general. Most studies concentrate on private passenger cars (a comprehensive overview is given by Plötz et al. (2014), while commercial transport is under-represented (Globisch et al. 2013). Wolf & Seebauer (2014) investigated the adoption of electric bicycles by private households, employing the meta-theory UTAUT (unified theory of acceptance and use of technology, introduced by Venkatesh et al. (2003) for IT diffusion), which brings together 8 previous adoption theories, including the Theory of Planned Behavior (Ajzen 1991), the Technology Acceptance Model (Davis 1993) and the Diffusion of Innovations Theory (Rogers 2003).

Regarding freight transport, Roumboutsos et al. (2014) apply a Systems of Innovation approach to estimate the potential of electric vehicles in city logistics and highlight the importance of well-organized local political actors and their networks. Laugesen (2013) compiled the results of 60 freight-oriented electric vehicle demonstration projects in the Baltic states. Cargo bikes are rarely the main focus of these urban freight demonstration projects, but sometimes accompanying modules (e.g. retail deliveries by cargo tricycle in Hasselt, Belgium and postal deliveries in Brussels, Belgium). Van Duin et al. (2013) focus on the simulation of electrification effects in city logistics. They apply a Fleet Size and Mix Vehicle Routing Problem with Time Windows (FSMVRPTW), finding that electric vehicles are generally capable of improving efficiency while strongly reducing externalities. Furthermore, the perspectives of different stakeholders (such as drivers, shift managers and dispatchers, customers or neighbors to costumers) are important for the assessment of innovations in courier and parcel logistics (Ehrler & Hebes 2012).

Commercial fleets are seen as crucial for alternative vehicle uptake, as single decision-makers can impact the procurement not only of their own vehicle (as in private car markets) but large fleets comprising of many vehicles (Globisch et al. 2013). Sierzychula (2014) identified the interest in innovative vehicle technology as the main EV-adoption motivation for fleet managers, with only secondary complements seen in lowering environmental impact, receiving government grants and improving the company's public image.

As introduced by Nesbitt & Sperling (2001)<sup>7</sup>, fleet decision-making processes can be distinguished alongside two main dimensions: formalization and centralization. Formalization refers to the level of rules and procedures guiding the decision process. Centralization refers to the number and independence of decision-makers involved. Based on these dimensions, the authors derive four main structures of fleet decision-making: Hierarchic (high formalization and centralization), bureaucratic (high formalization, low centralization), autocratic (low formalization, high centralization) and democratic (low formalization and centralization). In Germany, a common form of operating a courier logistics company is without employed drivers, but with freelance messengers who are contracted on a commission basis, operate their own vehicles (normally bicycles, cars, or vans). Consequently, vehicle procurement and use decisions are made in a decentralized fashion by a heterogeneous group of individual messengers (Gruber et al. 2014) and the common definition of a firm's vehicle fleet might only be applied with caution. If done so, it would be attributed to the democratic fleet decision-making category, which according to Nesbitt & Sperling (2001) was the least common type but seen as an interesting case for alternative fuel vehicles.

In this paper, we want to contribute to the understanding of alternative vehicles adoption in city logistics by an in-depth analysis of a stakeholder group bearing high importance for the decision process but receiving limited academic attention: the individual messengers.

## **5.2 Project context, data and methods**

### **5.2.1 Electric cargo bikes for courier logistics in Germany**

This analysis was conducted among messengers within a two-year fleet trial of 40 electrically assisted cargo bikes, funded by the German Federal Ministry for the Environment as part of the National Climate Initiative (project name: “Ich ersetze ein Auto”, i.e. “I substitute a car”).

The project vehicles (type “iBullitt”, see Fig. 17) offer a cargo box with approximately 200 liters of storage space between handlebars and front wheel. With battery capacities between 16 and 32 Ah and a maximum payload of 90 kg, these vehicles are capable of covering usual work loads of messengers (some 100 km daily).



*Fig. 17 A messenger riding one of the electric cargo bikes used in the fleet test<sup>8</sup>*

---

<sup>7</sup> Falsche Jahresangabe (2014 statt 2001) in veröffentlichter Version.

<sup>8</sup> Foto: Amac Garbe / DLR

The electric cargo bikes were successfully deployed in the daily routines of courier logistics providers in eight major German cities. The vehicles were used continuously and with increasing success. During the 21 months of observation, around 127,000 shipments were carried out by messengers using the project vehicles, accounting for 8% of all shipments of the participating companies. The vehicles were used for approximately half a million kilometers in operational business.

This paper uses empirical data from two surveys. The eight courier companies have sent out invitation links to all approximately 600 (mostly freelance) messengers working for them to participate in the survey. The sample contains 362 answers: The 1st wave (t0, May 2012, return=191) was conducted before vehicle dissemination, the 2nd wave (t1, April 2014, return=171) 21 months after vehicle dissemination.

In order to assess the future market potential of electric cargo bikes, we find it necessary to characterize in detail this under-examined professional group in terms of socio-demographics, job circumstances and personal characteristics, including how they differ from the general population.

### 5.2.2 Rejection analysis

A second angle of our investigation is the factors leading to the rejection or embracement of electric cargo bikes by individual messengers. Contrary to the well-known approach of modelling technology acceptance, whose intensity in our case can vary between enthusiasm and passive non-opposition (especially during the free provision of fleet test vehicles), rejection appears easier to assess. Hence, our target is to identify factors causing the rejection of electric cargo bikes for commercial use.

Tab. 11 shows the grouping of the rejection variable from answers in both waves to rejecters and non-rejecters. In t0, the rejecters showed no interest in participating in the fleet trial nor could they picture themselves using electric cargo bikes in the future. The latter also holds true for rejecters from t1; however, they might have tested the project bike prior to their decision.

*Tab. 11 Building the variable "rejection of electric cargo bikes" out of the survey responses*

Wave	t0 (May 2012)				t1 (April 2014)														
n	191				171														
Participation in fleet test	Are you interested in testing the electric cargo bike "iBullitt" as part of a project?				Which degree of experience do you have with the electric cargo bike "iBullitt"?														
	Yes.		No.		I have no experience.		I have used it only for test rides.		I have used it regularly for my job, but I'm not using it anymore.		I have used it regularly for my job, and I'm still using it.								
n	111		80		104		21		8		38								
General interest	↓		Can you picture yourself using an electric cargo bike for your job in the future?		Can you picture yourself using an electric cargo bike for your job in the future?								↓						
n	↓		17		63		31		73		12		9		6		2		↓
Rejecters	0		0		1		0		1		0		1		0		1		

To model this binary rejection as a dependent variable, we employed a dichotomous discrete choice model (binary logit). This model has been successfully used up to the present day for many acceptance and adoption studies, in areas as diverse as energy (Liu et al. 2013), agriculture (Mariano et al. 2012), land use (Jongeneel et al. 2008) and especially transport (Holguín-Veras & Wang 2011, Ye et al. 2012) and technology forecasting (Cheng & Yeh 2011). Since we have applied the model in a classic and unmodified form, the reader is referred to Ben-Akiva & Lerman (1985) for details on the mathematical foundations.

Sixty-three messengers participated in both waves, resulting in two answers for each of these panel members. Our constructed dependent variable correlates with panel membership by a coefficient of only 0.034. We therefore decided for a pooled model using answers from both waves. As expected, a dummy for panel membership revealed no significance.

### **5.3 Results**

#### **5.3.1 Characterization of messengers in Germany**

We observe that working as a freelance messenger in urban courier logistics differs considerably from an employed job as a driver in other logistics industries. External perception draws a homogenous or even stereotype picture of this professional group, especially of bike messengers (sporty, venturesome, ecologically aware, technology enthusiast). In contrast, while some attributes might be distributed homogeneously, we found others to be very heterogeneous among the surveyed messengers. The detailed characterization is shown in Tab. 12.

Firstly, socio-demographic variables give an overview. The youngest of the 362 respondents of both survey waves was 18, the oldest 81 years old. We found a very similar age distribution (mean 42.6 years) to the German population (mean 43.9 years in 2011 Destatis (2015c)). Half of the messengers earn a net income of between €1,001 and €2,000, while the German average is €1,685 (Statista 2015a). In contrast, the educational profile shows a stronger deviation compared to the whole population: While only 36% of the sample has a low (compulsory school) or medium (secondary school) level of education, the corresponding number for Germany is 68% (Statista 2015b). However, the main point of distinction is gender with only 7% of the respondents being female. Courier logistics clearly is a male-dominated industry.

Secondly, several job-related variables deserve attention. On average, the respondents drive a total daily mileage of 144 km, out of which 104 km are billed to the customers as net shipment distance. Note that these numbers combine bike and car messengers of which the latter naturally tend to achieve higher total daily mileages.

Both working days per week and working hours per day show substantial difference to regular German job conditions, as only half of the respondents follow the classic working scheme of 5 days per week and 6.5 to 9 hours per day. Deviations in both directions stem from the possibility to work part-time or as an intensive temporary or seasonal job. This is also reflected by roughly a third following other professions beside the messenger job. Note that especially the bike messenger job is a viable option for students due to low entry barriers and flexible working conditions. The variety in work styles also

causes a high fluctuation in part of the workforce, while on the other hand one third has 10 or more years of messenger experience.

Geographically, respondents originate mainly from 7 large German cities. Approximately following the distribution of the fleet trial vehicles to these cities, Berlin exhibits the largest share at almost 40% (17 out of 40 project vehicles), followed by the second largest German city Hamburg at 16%.

While bicycle ownership (75%) and car ownership (56%) closely follow the German figures (82% owning a bicycle (Follmer et al. 2010) and around 43.4 million passenger cars (Destatis 2015a) are registered by a population of 80.8 million inhabitants (Destatis 2015b)), cargo bike possession (excluding project vehicles) stands out at around 8%. When asked for their preferred vehicle for courier logistics, we can see a roughly equal split between ICE and climate-friendly vehicles. About every fourth messenger stated having practical experience with cargo bikes which largely originates from testing one of the project vehicles.

Around half of the messengers visit their contracting courier company's site at least daily, e.g. in order to hand over shipments. Other messengers pass by their company's site on a more irregular basis, e.g. for administrative purposes. Courier logistics offer different types of consignments which show varying popularity among messengers. Overnight pick-up tours (milk runs) are clearly the least popular consignment type. Compared with this, half of the messengers prefer ad-hoc point-to-point consignments with shipment distances below 20 km.

Thirdly, we asked for personal attitudes. 9 out of 10 respondents expressed interest in vehicle technology. Regarding the perception of electric cargo bikes, the respondents show a very positive attitude (86% agreeing or strongly agreeing), seeing this vehicle type as suitable for city logistics, contributory for environmental goals, and attracting pedestrians' interest. While the perceived substitution potential is split between car and bike shipments, messengers are less sure about the long-term success of electric cargo bikes in courier logistics. The item with the most indecisive answer distribution is the sufficiency of available information, with roughly as many people agreeing as disagreeing and a large proportion of neutral answers.

In line with the observed patterns in working time, flexibility is the most important job-related aspect for the respondents, with which they are also highly satisfied. Further important factors include contact with clients and other people, day-to-day variety, taking exercise while working, and job income. While the latter shows average dissatisfaction, the others provide contentment. Less important job factors comprise ecological footprint, long-term job planning, being at the heart of the city, job image, and innovative technology use. The low average importance of the latter appears especially contradictory to the high interest in vehicle technology.

*Tab. 12 Characterization of messengers in courier logistics (n=362)*

<b>SOCIO-DEMOGRAPHIC VARIABLES</b>			
<i>Age [years]</i>	mean: 42.6, SD: 11.6		
<i>Gender</i>		<i>Net. income</i>	
Female	7.2%	Up to €1,000	36.5%
<i>Education</i>		€1,001 - €2,000	48.6%
Low/medium	35.9%	€2,001 and more	14.9%

---

**JOB-RELATED VARIABLES**


---

<i>Total driven daily mileage [km]</i>	mean: 143.5, SD: 98.3		
<i>Total daily shipment distance [km]</i>	mean: 103.7, SD: 73.1		
<i>City / Company</i>		<i>Working days per week</i>	
Berlin	37.3%	1	5.0%
Hamburg	15.5%	2	6.6%
Munich	9.7%	3	11.0%
Nuremberg	9.7%	4	14.4%
Bremen	8.0%	5	54.4%
Düsseldorf	8.0%	6	6.1%
Leipzig	5.5%	7	2.5%
Other	6.4%		
<i>Vehicle ownership</i>		<i>Working hours per day</i>	
Regular bicycle	75.1%	up to 3 hours	2.5%
(Electric) cargo bike	7.7%	3.5 to 6 hours	24.6%
Car or van	55.8%	6.5 to 9 hours	47.2%
		9.5 to 12 hours	25.4%
<i>Preferred vehicle for courier logistics</i>		12.5 and more hours	0.3%
Regular bicycle	42.0%	<i>Profession beside messenger job</i>	30.4%
(Electric) cargo bike	9.7%	<i>Presence at courier company</i>	
Car or van	48.3%	several times per day	34.1%
<i>Experience with cargo bikes</i>	22.9%	daily	17.7%
<i>Possibility to bundle shipments</i>	50.0%	several times per week	29.0%
<i>Working experience as messenger</i>		weekly	11.8%
less than 1 year	12.7%	monthly	7.3%
1- less than 2 years	11.6%	<i>Preferred consignment type</i>	
2- less than 5 years	19.9%	Point-to-point shipments (up to 20 km)	49.7%
5- less than 10 years	20.7%	Point-to-point shipments (more than 20 km)	26.8%
10 years or more	35.1%	Overnight pickups	3.3%
		Regular tours	13.0%
		Other, e.g. value-added logistics	7.2%

---

**PERSONAL ATTITUDE VARIABLES**


---

<i>Interest in vehicle technology</i>	90.1%		
<b><i>General assessment of suitability of electric cargo bikes</i></b>			
<i>Using electric cargo bikes in my city makes sense.</i>		<i>Electric cargo bikes attract pedestrians' interest.</i>	
Strongly agree	63.0%	Strongly agree	49.4%
Agree	23.2%	Agree	34.6%
Undecided	9.6%	Undecided	11.6%
Disagree	2.5%	Disagree	2.6%
Strongly disagree	1.7%	Strongly disagree	1.7%
<i>Electric cargo bikes contribute towards environmental protection.</i>		<i>Messengers on electric cargo bikes can take over tasks that have formerly been carried out by car messengers.</i>	
Strongly agree	53.3%	Strongly agree	44.7%
Agree	29.8%	Agree	31.7%
Undecided	8.9%	Undecided	12.9%
Disagree	4.6%	Disagree	5.9%
Strongly disagree	3.4%	Strongly disagree	4.8%
<i>Messengers on electric cargo bikes can take over task that have formerly been carried out by bike messengers.</i>		<i>Electric cargo bikes will generally prevail in courier logistics.</i>	
Strongly agree	40.7%	Strongly agree	25.2%
Agree	27.8%	Agree	29.9%
Undecided	17.7%	Undecided	28.1%
Disagree	8.7%	Disagree	12.5%
Strongly disagree	5.1%	Strongly disagree	4.3%
<i>Sufficient information is available on electric cargo bikes and their usage.</i>			
Strongly agree	9.4%		
Agree	23.0%		
Undecided	37.2%		
Disagree	23.6%		
Strongly disagree	6.9%		

IMPORTANCE OF AND SATISFACTION WITH JOB-RELATED ASPECTS							
<i>Flexibility / time management</i>				<i>Contact with my clients</i>			
Very Important	49.4%	Very satisfied	44.4%	Very Important	36.3%	Very satisfied	33.1%
Important	33.8%	Satisfied	38.2%	Important	33.0%	Satisfied	44.5%
Neutral	12.8%	Neutral	13.2%	Neutral	23.5%	Neutral	17.4%
Unimportant	2.8%	Dissatisfied	3.7%	Unimportant	5.0%	Dissatisfied	4.2%
Very Unimportant	1.1%	Very dissatisfied	0.6%	Very Unimportant	2.2%	Very dissatisfied	0.8%
<i>Variety from day to day</i>				<i>Contact with people</i>			
Very Important	31.7%	Very satisfied	29.5%	Very Important	29.0%	Very satisfied	31.5%
Important	36.1%	Satisfied	40.2%	Important	34.0%	Satisfied	42.7%
Neutral	26.4%	Neutral	25.8%	Neutral	26.2%	Neutral	24.2%
Unimportant	4.4%	Dissatisfied	2.8%	Unimportant	7.7%	Dissatisfied	1.4%
Very Unimportant	1.4%	Very dissatisfied	1.7%	Very Unimportant	3.0%	Very dissatisfied	0.3%
<i>Amount of income</i>				<i>Taking exercise while working</i>			
Very Important	27.4%	Very satisfied	8.5%	Very Important	28.5%	Very satisfied	37.2%
Important	33.5%	Satisfied	20.9%	Important	28.8%	Satisfied	27.2%
Neutral	29.9%	Neutral	40.1%	Neutral	24.0%	Neutral	27.5%
Unimportant	7.2%	Dissatisfied	23.4%	Unimportant	14.0%	Dissatisfied	5.4%
Very Unimportant	1.9%	Very dissatisfied	7.1%	Very Unimportant	4.7%	Very dissatisfied	2.6%
<i>Ecological footprint of job</i>				<i>Long-term job planning</i>			
Very Important	19.2%	Very satisfied	31.4%	Very Important	21.9%	Very satisfied	10.6%
Important	29.2%	Satisfied	27.8%	Important	23.3%	Satisfied	24.7%
Neutral	31.2%	Neutral	27.2%	Neutral	24.2%	Neutral	44.1%
Unimportant	14.5%	Dissatisfied	10.4%	Unimportant	23.9%	Dissatisfied	12.9%
Very Unimportant	5.8%	Very dissatisfied	3.3%	Very Unimportant	6.7%	Very dissatisfied	7.6%
<i>Being at the heart of the city</i>				<i>Image of job</i>			
Very Important	13.8%	Very satisfied	24.9%	Very Important	18.0%	Very satisfied	18.6%
Important	24.3%	Satisfied	35.7%	Important	19.1%	Satisfied	32.7%
Neutral	29.7%	Neutral	34.8%	Neutral	27.5%	Neutral	37.2%
Unimportant	20.1%	Dissatisfied	3.7%	Unimportant	25.6%	Dissatisfied	10.3%
Very Unimportant	12.1%	Very dissatisfied	0.9%	Very Unimportant	9.8%	Very dissatisfied	1.2%
<i>Using innovative technologies</i>							
Very Important	12.7%	Very satisfied	12.0%				
Important	21.2%	Satisfied	30.2%				
Neutral	32.2%	Neutral	45.2%				
Unimportant	24.9%	Dissatisfied	10.2%				
Very Unimportant	9.0%	Very dissatisfied	2.5%				

### 5.3.2 Factors influencing electric cargo bike rejection

Out of all elements of the messenger characterization, only a limited number proved to be significant in a multivariate perspective on electric cargo bike rejection. There are prominent variables that don't shown significant influence on the likelihood of rejecting electric cargo bikes, such as both weekly and daily working hours and travel distances, company (and therefore city) effects, work style and work experience as a messenger, as well as general motivations for choosing the messenger job (such as income, flexibility, variety and contact with people). Even the motives of physical exercise and low carbon footprint did not reveal significance.

To illustrate the cumulative effects of the different types of independent variables, we present two models of electric cargo bike rejection. Tab. 13 lists both models and their coefficients. Positive coefficients indicate a higher probability of rejection. Lower p-values indicate a high significance of the measured effect.



Tab. 13 Model results (n=362)

Variable	M1		M2	
	coeff.	p	coeff.	p
Age	<b>0.056</b>	0.000	<b>0.048</b>	0.000
Gender: female	<b>1.359</b>	0.003	<b>1.428</b>	0.004
Net. income: >€2000	<b>1.036</b>	0.002	<b>1.025</b>	0.004
Education: low/medium	<b>0.628</b>	0.011	<b>0.474</b>	0.076
Car ownership			<b>0.811</b>	0.005
Possibility to bundle shipments			<b>-0.822</b>	0.001
Interest in vehicle technology			<b>-1.727</b>	0.000
Constant	<b>-3.315</b>	0.000	<b>-1.451</b>	0.023
Log likelihood	-214		-196	
Pseudo R <sup>2</sup> (McFadden)	0.125		0.199	

Model 1 contains four classic socio-demographic variables: age, gender, income, and education. Model 2 adds relevant information about messengers' job circumstances: car ownership and the possibility of bundling several shipments during ad-hoc tours as well as stated interest in vehicle technology.

Model 1 reveals the importance of classic socio-demographics on technology acceptance. Rejection probability increases with age and income, while higher education and male gender apparently result in higher likelihood of open-mindedness towards innovative vehicles. These four variables already account for an R<sup>2</sup> (McFadden) of 0.13.

Model 2 underlines the importance of individual work surroundings and attitudes. As we turn to consider job circumstances, we see that messengers owning cars are less likely to embrace the commercial use of electric cargo bikes. On the other hand, bundling shipments, a typical strategy of courier deliveries, plays an important role. Finally, interest in vehicle technology is the most important factor influencing the choice between rejection and embracement. The seven variables of M2 account for an R<sup>2</sup> (McFadden) of 0.20.

As described above, other socio-demographic and attitude variables are either insignificant or potentially endogenous for our constructed dependent variable and thus not included in the model.

In various robustness checks (not presented here), all coefficients prove quite stable and independent of the inclusion of new variables. Collinearity checks revealed a condition number of 14 and no variance inflation factor above 1.3, further strengthening these findings.

## 5.4 Interpretation

As in other studies dealing with technology adoption, we observe the importance of classic socio-economic factors such as age, income, education and gender. The clearest picture emerges for education: Messengers show an above-average educational profile and a low education increases the probability of rejection. Concerning age, our results show a wide (but quite average) range and an increasing rejection with higher age. While this is in line with some other studies (overview given by

Lüthje (2007)), the inverted relation has also been observed by Wolf & Seebauer (2014) for adoption in the private e-bike market, where older people are more likely to embrace electrically assisted bicycles than their young counterparts. Similarly, the detected negative impact of high income dissents from other studies observing a positive relation between income and adoption (Hjorthol 2013). Unlike the rather unrelated situation in private vehicle procurement, a new type of commercial vehicle can be expected to change a messenger's income situation. Those with currently high income thus appear less keen on changes of the status quo. The negative effect of female gender on EV adoption is in line with many studies (Wietschel et al. 2012), as is the interest in vehicle technology. Note again that both male gender and technology interest are each true for over 90% of our sample, rendering these aspects dependent on a low number of cases. Interestingly, using innovative technologies has been rated the least important among 11 job-related aspects.

On a more practical level, factors describing messengers' job organization proved to be of influence for technology acceptance. While professionals often solely distinguish their messengers' workforce between car and bike messengers, we found car ownership as only one among several variables leading to a rejection attitude towards electric cargo bikes. One of these variables is the possibility of bundling shipments, which is a typical strategy of messengers to improve their share of billed shipment distance compared to total driven mileage. (Electric) cargo bikes, offering a higher storage capacity than bicycles, are welcomed by messengers pursuing these bundling strategies.

Range-restricted technologies such as electric vehicles have a suitable application field in courier logistics, as a majority of messengers prefer ad-hoc consignments with shipment distances below 20 km. In combination with frequent presence at the courier company's site, (fast) charging concepts can be a facilitator to successfully implement less expensive cargo bikes with electric ranges below the daily mileage of messengers.

Messengers assess electric cargo bikes as being environmentally-friendly vehicles; however, this cannot be seen as direct driver of procurement intention, as having a low carbon footprint is only a secondary target for most members of this professional group.

The specific requirements of electric cargo bikes (possibility of charging and safe parking) must not intervene with the observed high degree of desired flexibility and heterogeneity of work styles.

It is appealing that the observed multitude of company policies and built environments reflected by the diverse sample distribution does not have any effect on the rejection probability. We can therefore hypothesize that our results have a general applicability, regardless of specific local circumstances.

The high value of 86% agreement that using electric cargo bikes makes sense has three implications: Firstly, such a high level is very promising in terms of general market potential. Secondly, electric cargo bikes do not appear to be an outlandish technological niche but rather a somehow pragmatically expected evolution of the current technology. Thirdly (and somehow disturbing however), it is in stark contrast to the share of 147 out of 362 respondents identified as rejecting the individual long-term adoption of this alternative.

One approach to tackle these rejection levels can be fleet tests in order to raise cargo bike experience.

## **5.5 Conclusion**

Using a two-wave survey including 362 answers of individual messengers about themselves, their job situation and their attitude towards technology, we achieved an in-depth characterization of this seldom-portrayed professional group of decision-makers in the field of city logistics.

With the exception of a high share of males and higher level of education, their socio-demographic features are fairly aligned with the general population. We detected a plurality of working styles, due to the high degree of flexibility and the freelance working environment. While around every fourth of the respondents stated own experience with electric cargo bikes and 8% already owning this vehicle type, almost 90% see them as a viable option for courier deliveries.

In order to shape a more concrete picture of technology uptake by these individuals, we opted for the modeling of a binary variable reflecting rejection. Especially in a longitudinal study design this decision can be derived with more accuracy than its positive counterpart (adoption). We found evidence for well-known explanatory factors of innovation rejection. These factors include socio-demographic attributes such as age, gender, income and education, as well as individual perception of the technological innovation and its impact. Other important factors include specificities of the messenger job like car ownership and delivery strategy.

As a concrete policy recommendation, our results suggest a high success potential for information and adoption campaigns as well as large-scale fleet tests, all specifically aimed at the identified profile of rejecters in order to increase their awareness and acceptance of new vehicle technologies.

## 6 Fachartikel B-1: Einflussfaktoren bei der Einführung des Lastenrads im urbanen Wirtschaftsverkehr<sup>9</sup>

Johannes Gruber, Christian Rudolph, Viktoriya Kolarova

(Im Literaturverzeichnis: Gruber et al. (2015))

Gruber, J., Rudolph, C., & Kolarova, V. (2015). Einflussfaktoren bei der Einführung des Lastenrads im urbanen Wirtschaftsverkehr, *Zeitschrift für Wirtschaftsgeographie*, 59(1), 115-129.

<https://doi.org/10.1515/zfw.2015.0009>

### English summary:

#### Factors determining the introduction of cargo bikes in urban commercial transport

One potential approach to the challenges faced by urban commercial transport is the introduction of (electrically assisted) cargo bikes in different transport market segments, which will initially be categorized. Furthermore, this paper deals with the sparsely investigated reasons explaining the gap between cargo bikes' large potential to substitute car trips and their marginal degree of utilization to date. Inspired by innovation diffusion theories and based on the results of 45 guided interviews with cargo bike users and industry insiders, this article presents three interrelated groups of determinants influencing stakeholders' decisions to use cargo bikes in a positive or negative way. Firstly, environmentally specific factors consist of regulatory, socio-spatial, and economic framework conditions. Secondly, company-specific factors include the type of fleet decision-making, firms' strategic orientation, and decision-makers' individual attitudes. Thirdly, vehicle-specific factors can be grouped in compatibility with transport tasks, relative advantage compared to conventional vehicles, and cargo bike availability.

*Keywords:* commercial transport, sustainable urban freight, cargo bikes, innovation diffusion, organizational decision-making

### 6.1 Motivation, Ziel und Hintergrund des Beitrags

Das städtische Wirtschaftsverkehrsaufkommen wächst in Deutschland seit Jahren kontinuierlich (Kutter 2004), beeinflusst von Wachstumsmärkten wie E-Commerce und der Nachfrage nach hochwertigen, flexiblen und zeitkritischen logistischen Dienstleistungen (BIEK 2014). Die negativen Externalitäten (Stau, Emissionen, Lärm, sinkende Verkehrssicherheit und Aufenthaltsqualität) entstehen häufig stark konzentriert in städtischen (Teil-)Räumen und erhöhen den Handlungsdruck auf Kommunen (Beckmann 2012). Gleichzeitig wird dieser weiter verstärkt durch das Ziel der

---

<sup>9</sup> Fußnote im veröffentlichten Artikel: Die Ergebnisse dieses Artikels basieren auf dem im Rahmen des Forschungsprogramms Stadtverkehr vom Bundesministerium für Verkehr und digitale Infrastruktur unter Projekt-Nummer FoPS 70.0884/2013 laufenden Forschungsvorhaben „Untersuchung des Einsatzes von Fahrrädern im Wirtschaftsverkehr“. Das Bundesministerium für Verkehr und digitale Infrastruktur (BMVI) hat hierzu das Deutsche Zentrum für Luft- und Raumfahrt e.V. (DLR) mit den voraussichtlich im Dezember 2015 abgeschlossenen Forschungsarbeiten beauftragt. Die Verantwortung für den Inhalt liegt ausschließlich bei den Autoren.

EU-Verkehrspolitik, welches die „Erreichung einer im wesentlichen CO<sub>2</sub>-freien Stadtlogistik in größeren städtischen Zentren bis 2030“ vorsieht (European Commission 2011).

Gewerbliche Fahrradnutzung, insbesondere der Einsatz von Lastenrädern, wird als ein Element zur umweltfreundlicheren und effektiveren Gestaltung des Wirtschaftsverkehrs gesehen (Lenz & Riehle 2013, Browne et al. 2011, Holguín-Veras et al. 2014, Koning & Conway 2014, Menge & Horn 2014). Während Fahrräder in einzelnen Branchen seit Jahrzehnten etabliert sind (etwa Posträder und Werksräder), kann das zunehmende Angebot an (elektrifizierten) Lastenrädern als eine Nachhaltigkeitsinnovation bezeichnet werden. Deren Anwendung ist auch in anderen Branchen möglich, etwa Kurierdienstleistung (Gruber et al. 2014) und Speisenauslieferung (Nordenholz 2012). Elektro-Lastenräder sind rechtlich mit Fahrrädern gleichgestellt, wenn ihr „elektromotorischer Hilfsantrieb mit einer Nenndauerleistung von höchstens 0,25 kW ausgestattet“ ist und bei maximal 25 km/h oder ohne Tretbewegung des Fahrers unterbrochen wird (§ 1 Abs. 3 StVO). Neben diesem häufig als Pedelec-25 bezeichneten Typ existieren S-Pedelecs oder schnelle E-Bikes, welche mit einer Nenndauerleistung bis 0,5 kW und Geschwindigkeiten bis 45 km/h als Kleinkraftäder zugelassen werden. Lastenräder in unterschiedlichen Elektrifizierungsgraden versprechen gewerblichen Anwendern Betriebskostenvorteile gegenüber verbrennungsmotorischen Fahrzeugen sowie das Potenzial, größere Güter als mit herkömmlichen Fahrrädern anstrengungsfrei und gleichzeitig emissionsarm zu transportieren (Transport for London 2009).

Derzeit liegt allerdings eine große Diskrepanz zwischen dem hohen theoretischen Substitutionspotenzial von Lastenrädern und ihrer noch marginalen Nutzung im gewerblichen Kontext vor. Die Ursachen sind bislang unklar und nur wenig erforscht. Ziel dieses Beitrags ist daher eine Kategorisierung der bestehenden Einsatzformen von Lastenrädern sowie eine Analyse des breiten Spektrums von Treibern und Hemmnissen bei der Lastenradnutzung im Wirtschaftsverkehr.

## **6.2 Einflussfaktoren auf die Adoption von Innovationen**

Wissenschaftliche Theorien zur Erklärung von organisationalen Kaufentscheidungen im Rahmen von Innovationen und noch spezifischer solche, die Unternehmensentscheidungen beim Fahrzeugkauf untersuchen, bieten einen Überblick über mögliche Einflussgrößen und sind daher Gegenstand der folgenden Ausführung. In den Beiträgen zur Erklärung der Adoption (Übernahme) von Innovationen wird im Allgemeinen zwischen drei Gruppen von Faktoren unterschieden, die den Adoptionsprozess determinieren: umfeldspezifische, adopterspezifische und produktspezifische Merkmale (Litfin 2000, Gelbrich 2007).

### **6.2.1 Umfeldspezifische Merkmale**

Zu den umfeldspezifischen Merkmalen gehören die Charakteristiken des sozialräumlichen, kulturellen, technologischen, ökonomischen und politischen Umfeldes. Diese sind als Rahmenbedingungen des Adoptionsprozesses anzusehen (Langert 2007, Litfin 2000). Das sozialräumliche und kulturelle Umfeld bestimmt dabei die in der Gesellschaft, im Bezugsraum oder in einer Bezugsgruppe geltenden Werte und Normen, die einen indirekten Einfluss auf die Adoptionsentscheidung haben. Das ökonomische Umfeld umfasst die volkswirtschaftlichen Rahmenbedingungen wie z.B. Konjunktursituation, Marktstruktur, Marktwachstumserwartungen (Litfin 2000), staatliche

Subventionierung (Langert 2007) etc. Das politische Umfeld beschreibt dabei die rechtlich-politischen Rahmenbedingungen wie Gesetze und rechtliche Regelungen, die einen Bezug zur Verwendung der Innovation haben.

### **6.2.2 Adopterspezifische Merkmale:**

Die adopterspezifischen Faktoren sind die Eigenschaften des Adopters, die einen Einfluss auf seine Entscheidung ausüben. Für den überwiegenden Teil der Literatur werden Adopter als Einzelpersonen aufgefasst, da Forschungsgegenstand die Aufnahme von Innovationen durch Konsumenten Forschungsgegenstand ist. Im unternehmerischen Kontext sind Entscheidungsprozesse allerdings aus zwei Gründen komplexer. *Erstens* entscheiden verantwortliche Personen in Unternehmen im Spannungsfeld aus subjektiven Einstellungen und rationaler Abwägung. Folglich sind neben den Merkmalen des Entscheiders (wie z.B. individuelle Einstellungen, Erfahrungen, Soziodemographie, Persönlichkeitsmerkmale) auch unternehmensspezifische Charakteristiken wie betriebliche Entscheidungsstrukturen, Unternehmensgröße, Organisationsziele oder auch finanzielle Ressourcen ausschlaggebend (Langert 2007, Litfin 2000). *Zweitens* fallen unternehmerische Kaufentscheidungen für gewöhnlich im Zusammenspiel von mehreren Funktionsträgern. Im Allgemeinen wird in der Literatur je nach Anzahl der Entscheider zwischen individuellen und kollektiven organisationalen Entscheidungen differenziert (Forscht & Swoboda 2007, Gelbrich 2007). Für die Erklärung des spezifischen Kaufverhaltens eines Unternehmens bei Fahrzeuganschaffungen ist diese allgemeine Kategorisierung jedoch unzureichend.

Aus diesem Grund haben Nesbitt & Sperling (2001) einen erweiterten theoretischen Rahmen zur Kategorisierung der flottenbezogenen Entscheidungsstrukturen entwickelt, bei dem nicht nur die Anzahl der Personen (der sogenannte Zentralisierungsgrad), sondern auch die Formalisierung des Prozesses eine Rolle spielt. Der Formalisierungsgrad beschreibt dabei, ob es Regeln, festgelegte Prozesse oder Einkaufsstrategien in dem jeweiligen Unternehmen gibt. Je nach Ausprägungen der Dimensionen Formalisierung und Zentralisierung werden hierarchische (hoch formalisiert, hoch zentralisiert), bürokratische (hoch formalisiert, wenig zentralisiert), demokratische (wenig formalisiert, wenig zentralisiert) und autokratische (wenig formalisiert, hoch zentralisiert) Entscheidungen unterschieden. Die unterschiedlichen flottenbezogenen Entscheidungsstrukturen sind von Bedeutung für die Etablierung von alternativen Fahrzeugantrieben in den jeweiligen Unternehmen.

Bürokratische Entscheidungen sind durch viele Entscheider und feste Regeln im administrativen Prozess charakterisiert, was laut Nesbitt & Sperling (2001) in der Regel eine Barriere für die Implementierung von innovativen Transporttechnologien darstellt. In Unternehmen mit autokratischer Entscheidungsstruktur werden die Entscheidungen von einzelnen Personen getroffen und hängen daher sehr stark von ihren subjektiven Präferenzen ab. Diese zählen meistens nicht zu den ersten, aber dennoch frühen Übernehmern einer Innovation, da sie in einem dynamischen Wettbewerbsumfeld agieren und daher anpassungsfähig sein müssen. Hierarchische Kaufentscheidungen werden auf einer hohen Managementebene getroffen und sind stark durch strategische Denkweisen und Standardprozeduren unter Berücksichtigung der Unternehmensziele und -ressourcen geprägt. Dies kann sehr gute Voraussetzungen für die Adoption von alternativ betriebenen Flottenfahrzeugen darstellen. Demokratische Entscheidungen werden von verschiedenen Personen und nicht nach festen

Regeln getroffen. Diese Rahmenbedingungen können die Adoption von alternativen Fahrzeugen begünstigen, da die Entscheidung auch von den unteren Hierarchieebenen eines Unternehmens initiiert werden kann.

### **6.2.3 Produktspezifische Merkmale**

Die Adoption einer Innovation wird neben den adopterspezifischen auch von produktspezifischen Merkmalen bestimmt, wobei die beiden Gruppen der Einflussfaktoren stark interagieren. So sind neben den objektiven Produkteigenschaften der Innovation auch die subjektive Bewertung dieser Eigenschaften ausschlaggebend (Litfin 2000).

Zur Gliederung der Produkteigenschaften werden am häufigsten fünf Charakteristiken diskutiert (vgl. Rogers 2003), deren Einfluss auf die Adoption von Innovationen mehrfach bewiesen und als sehr hoch eingestuft wurde (Litfin 2000). Diese sind die Kompatibilität, der relative Vorteil, die Erprobbarkeit, die Komplexität und die Sichtbarkeit der Innovation.

Der Grad der Kompatibilität beschreibt, in welchem Ausmaß eine Innovation als übereinstimmend mit den Werten, Erfahrungen und Bedürfnissen der Unternehmen und seiner Entscheider wahrgenommen wird (Rogers 2003). Der relative Vorteil bezieht sich auf den Vergleich der Innovation gegenüber den bisher bekannten bzw. verwendeten Produktalternativen (Langert 2007) und lässt sich in der Regel betriebswirtschaftlich messen. Die Erprobbarkeit beschreibt, wie hoch der Aufwand ist, um die Innovation testen zu können (Rogers 2003). Die Komplexität der Innovation zeigt an, wie schwierig diese zu verstehen bzw. in die Geschäftsabläufe zu integrieren ist. Sie hängt stark vom Produktwissen, den Erfahrungen und der Lernbereitschaft der Entscheider ab (Litfin 2000, Lüthje 2007). Die Sichtbarkeit spiegelt das Ausmaß wider, in dem der Nutzen einer Innovation für die Mitglieder eines sozialen Systems sichtbar ist (Rogers 2003, Lüthje 2007).

### **6.2.4 Adoption von Nachhaltigkeitsinnovationen im Verkehrsbereich**

Bisherige Untersuchungen zur Adoption von Nachhaltigkeitsinnovationen im Verkehrsbereich fokussieren vor allem auf den privaten Kauf und die Nutzung von alternativ betriebenen Fahrzeugen (vgl. Plötz et al. (2014)). Untersuchungen zur Adoption von Elektrofahrzeugen und Gasfahrzeugen zeigen, dass Umweltbewusstsein und auch ökonomische Aspekte bei der Entscheidung eine Rolle spielen (Dütschke et al. 2011, Ozaki & Sevastyanova 2011). Wolf & Seebauer (2014) untersuchen die Determinanten für die Nutzung von Elektrofahrrädern unter Anwendung der „theory of planned behavior“ (nach Ajzen (1991)) und zeigen, dass insbesondere der wahrgenommene Nutzen, die leichte Bedienbarkeit der Fahrräder, das Vorhandensein einer entsprechenden Infrastruktur, sowie das hohe Umweltbewusstsein der Nutzer ausschlaggebend bei der Adoption der Innovation waren.

Die Kaufentscheidungen von Unternehmen gegenüber Nachhaltigkeitsinnovationen wie dem Einsatz alternativer Fahrzeuge in gewerblichen Flotten wurden dagegen bisher wenig erforscht (Globisch et al. 2013). Erste Ergebnisse aus Studien zur Flottenentscheidung bei alternativen Fahrzeugen zeigen, dass die allgemeine Experimentierfreude, die Verringerung der schädlichen Umweltwirkungen, öffentliche Förderung sowie der Wunsch nach einer Vorreiterrolle und der Imagegewinn wichtige Faktoren bei Kaufentscheidungen von Flottenmanagern sind (Sierzchula 2014, Dütschke et al. 2011). Der Kenntnisstand zu Kauf- und Nutzungsentscheidungen von kleineren Fahrzeugkategorien (wie etwa

Lastenrädern) ist sehr gering. Diese werden in ersten Forschungsarbeiten eher als Teil von logistischen Konzepten wie stationären oder mobilen Depots (Mikrokonsolidierungszentren) wohlfahrtsökonomisch (Maes 2014) oder in ihrer verkehrlichen Wirkung (Verlinde et al. 2014) bewertet.

### 6.3 Methodik

Die Einflussfaktoren auf die Adoption von Lastenrädern im Wirtschaftsverkehr sind bislang noch wenig erforscht. Um ein tieferes Verständnis der komplexen organisationalen Entscheidungsstrukturen zu erlangen, ist eine explorative Vorgehensweise von Vorteil. Insbesondere basieren die Erkenntnisse auf einer kombinierten Methodik aus Sekundärrecherche und qualitativen Expertengesprächen. Die Sekundärrecherche berücksichtigte Projekte mit öffentlicher Förderung, internationale Demonstrationsprojekte und Initiativen der Privatwirtschaft und hatte zum Ziel, eine Typologisierung der bestehenden Einsatzformen von gewerblicher Lastenradnutzung zu erstellen. Keine Berücksichtigung fanden privat motivierte Verkehre (etwa zum Transport von Kindern oder Waren) oder gewerbliche Lastenradnutzungen, bei denen die Raumüberwindung kein wesentlicher Teil des Geschäftsmodells darstellt (etwa mobile Kaffeestände).

Die resultierende Einteilung in Marktsegmente diente im weiteren Verlauf der Rekrutierung von Gesprächspartnern für Experteninterviews. Hierbei wurden vorrangig Unternehmen kontaktiert, von denen eine gewerbliche Lastenradnutzung bekannt war. Neben der Sicht der (bereits nutzenden) Unternehmen war die Perspektive von Branchenkennern von Interesse, welche in ihrem Tätigkeitsprofil Berührungspunkte mit den Belangen gewerblicher Fahrradnutzung aufweisen. Inhalte der leitfadengestützten Gespräche waren die Entscheidungsstrukturen bei der Anschaffung und gewerblichen Nutzung von Lastenrädern, die Treiber und Hemmnisse für einen (verstärkten) Einsatz von Fahrrädern im Unternehmenskontext sowie Einschätzungen bezüglich des Marktpotenzials.

Tab. 14 Segmentierung der Interviewpartner

Perspektive	Segmentierung	Interviews	Interviewpartner
<b>Nutzer</b>	Postdienstleistung	2	2 Postdienstleister
	Kurierdienstleistung	5	3 Kurierdienstleister, 2 Lastenradlogistiker
	Paketdienstleistung	2	2 internationale Paketdienstleister
	Lieferservice	4	2 Bio-Lieferdienste, 1 Fischgroßhändler, 1 Pizzadienst
	Werkverkehr	7	2 Fahrzeughersteller, 2 Chemiewerke, 1 Automobilzulieferer, 1 Flughafenbetreibergesellschaft, 1 Messeveranstalter
	Personen-wirtschaftsverkehr	5	2 Facility-Management-Dienstleister, 2 Stadtreinigungen, 1 Pflegedienst
	Fahrradaffine Dienstleistungen	4	2 Beratungsunternehmen, 1 Leasinganbieter, 1 Ingenieurbüro
<b>Branchen-kenner</b>	Lastenradhersteller oder Händler	6	5 Hersteller, 1 Händler
	Verbände	4	2 Fahrrad-Verkehrsklubs, 1 Verkehrsklub, 1 Interessensvertreter der Fahrradhersteller
	Verwaltung, öffentliche Einrichtungen	6	3 Landesministerien, 1 kommunale Verwaltung, 1 Berufs-genossenschaft, 1 regionale Verkehrsmanagement-Gesellsch.



Über 80 potenzielle Interviewpartner konnten identifiziert werden, von denen 45 Unternehmen und Institutionen zu Expertengesprächen bereit waren. Diese wurden zwischen August und Dezember 2014 durchgeführt. 25 Interviews fanden mit Vertretern von fahrradnutzenden Unternehmen statt, 20 Interviews mit Branchenkennern. Die Anzahl der Interviews in den einzelnen Marktsegmenten und die institutionellen Hintergründe der Gesprächspartner zeigt Tab. 14. Zur qualitativen Ergebniserzeugung wurden die geführten Gespräche aufgezeichnet, transkribiert und mithilfe von MAXQDA 10 kodiert und ausgewertet.

## **6.4 Formen gewerblicher Lastenradnutzung**

Die gewerbliche Fahrradnutzung wird weder in einer amtlichen Statistik noch in bundesweiten Verkehrserhebungen (z.B. KiD 2010 Kraftfahrzeugverkehr in Deutschland) berücksichtigt. Vertreter der Fahrradindustrie schätzen die jährlichen Absatzmengen von gewerblich genutzten Lastenrädern im vierstelligen Bereich. Die Sekundärrecherche und die Erkenntnisse aus den Experteninterviews zeigen, dass die Einsatzformen in der gewerblichen Anwendung vielfältig sind. Im Folgenden werden die ermittelten Einsatzformen und ihre wesentlichen Unterscheidungsmerkmale vorgestellt.

### **6.4.1 Postdienstleistung**

Postdienstleistungen umfassen Briefzustellungen bis zu einem Gewicht von 1.000g. Das Postrad spielt in der Zustellung von Briefen klassisch eine große Rolle. Der Anteil der Fahrradnutzung zur Zustellung der Sendungen ist in diesem Marktsegment besonders hoch, wobei der Einsatz von Pedelecs (Fahrrad mit elektrischer Treithilfe) in der Briefverteilung stetig zunimmt. Bei der Deutschen Post AG sind mittlerweile über ein Viertel der Posträder elektrifiziert (DHL 2013). Briefboten fahren durchschnittlich rund 13 km bei 100 bis 200 Stopps (Wessels 2013). Typischerweise kommen in diesem Marktsegment sogenannte Posträder, also kleinere Lastenräder mit und ohne Anhänger zum Einsatz.

### **6.4.2 Kurierdienstleistung**

Der Kuriermarkt transportiert fast ausschließlich zwischen gewerblichen Kunden Sendungen mit einem Höchstgewicht bis 31,5 kg (entspricht etwa 70 lbs, der Gewichtsgrenze des genehmigungspflichtigen Güterverkehrs in den USA). Neben konventionellen Fahrrädern kommen auch Pkw sowie leichte Nutzfahrzeuge und jüngst auch elektrifizierte ein- oder mehrspurige Lastenräder zum Einsatz. Die Tagesfahrleistung variiert stark, da Fahrradkuriere zum größten Teil als Freelancer arbeiten und selbst entscheiden, ob sie einen Auftrag annehmen. Dennoch übersteigt die tägliche Fahrleistung 100 km nur selten (Gruber et al. 2014). Kuriere stellen ihre meist zeitkritischen Sendungen im Direktverkehr zu, wobei die Fahrten nur selten im Voraus planbar sind.

### **6.4.3 Paketdienstleistung**

Dienstleister, die Paketsendungen zustellen, nutzen vorrangig (leichte) Nutzfahrzeuge bis 3,5 t oder bis 7,5 t zulässiges Gesamtgewicht. In diesem Marktsegment spielt der Fahrradeinsatz derzeit noch keine nennenswerte Rolle. Allerdings pilotieren vor allem international tätige Paketdienste in verschiedenen Projekten die innerstädtische Feinverteilung mit stationären bzw. mobilen Kleindepots.

Paketsendungen werden sowohl zwischen Gewerbetreibenden, als auch an Privatkunden zugestellt

bzw. eingesammelt. Auch hier beträgt das maximale Gewicht einer Einzelzustellung 31,5 kg. Die Auslieferungstouren sind stets ab einem definierten Zeitpunkt am Vortag planbar und umfassen durchschnittlich zwischen 80 und 100 Stopps pro Tag bei einer Fahrleistung von rund 50 bis 80 km. In diesem Marktsegment kommen die gleichen Lastenradformen wie zur Erbringung von Kurierdienstleistungen zum Einsatz.

#### **6.4.4 Lieferservice**

Charakteristisch für dieses Marktsegment ist der Transport des Produktes zum Privatkunden, welcher in der Regel durch angestellte Fahrer durchgeführt wird, etwa im Falle von Lieferdiensten für zubereitete Speisen oder frische Lebensmittel. Typische Fahrzeugarten in diesem Marktsegment sind kleine Lastenräder (sog. Bäckerfahrräder), Motorroller, Kleinwagen oder leichte Nutzfahrzeuge, wobei Fahrräder zunehmend an Bedeutung gewinnen. Durch den Einsatz von Pedelecs mit einem isolierten Transportbehälter können Unternehmen, die zubereitete Speisen ausliefern, Pkw-Fahrten insbesondere auf Strecken bis fünf Kilometer substituieren. Ein Beispiel für die Heimzustellung von Nonfood-Produkten ist die innerstädtische Ikea-Filiale in Hamburg-Altona, die einen Lastenradtransport anbietet.

#### **6.4.5 Werkverkehr**

Dieses Marktsegment betrachtet den Verkehr auf Werksgeländen großer Unternehmen. Charakteristisch hierfür sind die häufig abgeschlossenen Areale, auf denen die Straßenverkehrsordnung (StVO) nicht gilt oder freiwillig zur Anwendung kommt (Intralogistik). Verkehre zwischen Standorten bzw. Filialen eines Unternehmens innerhalb einer Stadt oder Gemeinde spielen in dieser Betrachtung nur eine untergeordnete Rolle. Die Fahrradnutzung hat in diesem Marktsegment Tradition und ist entsprechend verbreitet, allerdings dienen rund vier von fünf Werksrädern vorrangig der Personenmobilität. Die Distanzen variieren stark je nach Größe des Werksgeländes, in einigen Industriearealen liegen die Gebäude teilweise mehrere Kilometer auseinander. Meist kommen robuste konventionelle Eingangsfahrräder oder dreirädrige Lastenräder zum Einsatz, die Einführung von Pedelecs wird nur von wenigen Unternehmen angestrebt. Die Einbindung von Lastenrädern in die Produktion haben bislang nur sehr wenige Unternehmen vollzogen, allerdings gibt es in jüngster Vergangenheit Bestrebungen von Automobilherstellern, Lastenräder stärker in der Intralogistik zu nutzen.

#### **6.4.6 Personenwirtschaftsverkehr**

Der Personenwirtschaftsverkehr dient vorrangig zum Erreichen des Einsatzortes – Warentransport spielt hier nur eine untergeordnete Rolle. Dennoch müssen häufig Materialien (etwa Werkzeuge) mitgeführt werden, um die Dienstleistung vor Ort ausüben zu können. Diese Materialien können sehr häufig mit Lastenrädern transportiert werden. Die Unternehmensstrukturen, die erbrachten Dienstleistungen und die Affinität zur Fahrradnutzung sind in diesem Marktsegment sehr heterogen. Einzelne Dienstleister für Facility Management und Grünpflege haben bereits Erfahrungen mit Lastenrädern gesammelt, ebenso einige Handwerksunternehmen mit geringem Materialaufwand (etwa Schornsteinfeger). Demgegenüber sind Fahrräder in anderen potenziellen Branchen (z.B. ambulante

Pflegedienste) nur marginal verbreitet. Die täglichen Fahrtdistanzen und die genutzten Fahrradtypen variieren in diesem Marktsegment je nach Einsatzform stark.

Im Folgenden werden die drei identifizierten Einflussfaktorengruppen beschrieben: umfeld-, unternehmens- und fahrzeugspezifische Faktoren.

## **6.5 Umfeldspezifische Einflussfaktoren**

Die umfeldspezifischen, externen Merkmalen lassen sich weiter unterteilen in regulative Rahmenbedingungen, sozialräumlichen Kontext sowie ökonomisches Umfeld.

### **6.5.1 Regulative Rahmenbedingungen**

Das gesetzliche Umfeld beeinflusst die Adoption von Nachhaltigkeitsinnovationen wie dem Lastenrad in den jeweiligen Marktsegmenten stark, da die Unternehmen ihre Geschäftsmodelle unter Ausschöpfung der Rahmenbedingungen hin optimieren. Solange die Rahmenbedingungen keine substanziellen Veränderungen erfahren, werden auch Unternehmen nur kleine Anpassungen implementieren. Ein radikaler Umbau bestehender Konzepte im Wirtschaftsverkehr kann nach Meinung zahlreicher Gesprächspartner mit dem Erlassen neuer Gesetze bewirkt werden.

Ein prominentes Beispiel in vielen Gesprächen ist die Regulierung der Zufahrt von Fußgängerzonen. Eine Verengung der Zeitfenster für die Einfahrt von verbrennungsmotorischen Lieferfahrzeugen würde den Handlungsdruck vor allem auf Kurier-Express-Paket (KEP)-Dienstleister erhöhen und wäre dem Lastenradeinsatz förderlich. Eine ähnliche Reaktion, das heißt eine ökonomische Neubewertung des Belieferungskonzepts zugunsten des Lastenrads, würde auch bei der Einführung einer City-Maut erwartet.

Neben negativen Primäreffekten durch ein zunehmendes Lieferaufkommen (z.B. Staus) werden von kommunalen Vertretern auch negative Sekundäreffekte wie die Gefährdung der übrigen Verkehrsteilnehmer durch das Parken der Zustellfahrzeuge in zweiter Reihe aufgeführt. Kommunen können über die Höhe ihrer Strafmandate und die konsequente Ahndung dieser Ordnungswidrigkeiten einen Anreiz zur Nutzung von alternativen Verkehrsmitteln wie dem Lastenrad schaffen, auf die die genannten negativen Externalitäten nicht zutreffen.

Die Novellierung der Dienstwagenbesteuerung ermöglicht den Arbeitnehmern seit 2013 beim Kauf oder Leasing eines Fahrrades die gleichen steuerrechtlichen Vorteile wie bei der Anschaffung eines Dienst-Kfz. Diese Gesetzesanpassung wurde bislang jedoch wenig kommuniziert und fand folglich nur selten im Rahmen des Fahrradkaufs Anwendung.

Der seit 2015 gültige Mindestlohn und die damit steigenden Personalkosten wurden von vielen Befragten insbesondere im Marktsegment Personenwirtschaftsverkehr als wichtiger Treiber für den gewerblichen Fahrradeinsatz genannt. Im Marktsegment Lieferservice wurde von den Gesprächspartnern mitgeteilt, dass die Nutzung von Lastenrädern anstelle von Transportern dazu führt, dass mehr Fahrer angestellt werden mussten. Die zusätzlichen Personalkosten konnten dabei durch die eingesparten Betriebskosten kompensiert werden. Demgegenüber werden bei Paketdienstleistern kaum

Beschäftigungseffekte durch den Lastenradeinsatz gesehen, da bereits heute häufig zwei Zusteller pro Fahrzeug tätig sind. Das Lastenrad wird vorrangig als Erleichterung für den Zustellhelfer gesehen.

Zu den politischen Rahmenbedingungen zählt auch der Einfluss von Interessensvertretungen oder berufsständischen Körperschaften, wie etwa der Handelskammern. Beispielsweise sprach sich die IHK Berlin gegen eine grüne Welle für Radfahrer und Fahrradstreifen an Hauptstraßen aus, da dies die Bedingungen für Lieferverkehre oder andere wirtschaftsrelevante, automobiler Verkehrsteilnehmer verschlechtern würde. Demgegenüber stehen Initiativen der IHK München und Oberbayern oder der IHK Stuttgart, die auf die Ausschöpfung der Potenziale gewerblicher Lastenradnutzung abzielen. Fahrradnahe Lobbyorganisationen kritisieren den geringen Stellenwert des Fahrrads gegenüber anderen Verkehrsmitteln im Rahmen der öffentlichen Förderung. Ein Beispiel hierfür ist der Ausschluss von Fahrrädern im Kontext der Elektromobilitätsförderung.

### **6.5.2 Sozialräumlicher Kontext**

Eine weitere Dimension umfeldspezifischer Einflussfaktoren ist der sozialräumliche Kontext, in welchem gewerbliche Lastenradnutzung geschieht. Dies bezieht sowohl die städtebauliche, physische und verkehrsrelevante Infrastruktur, als auch die Erlebbarkeit der Innovation und die Fahrradkulturen vor Ort mit ein.

Güterverkehr als abgeleitete Nachfrage steht in engem Bezug zur räumlichen Konzentration insbesondere von unternehmensbezogenen Dienstleistungen. Insofern wird ein Großteil der Nachfrage und aufgrund der Nutzungskonkurrenz auch des Problemdrucks in den großstädtischen Zentren generiert. Des Weiteren können auch städtebauliche Kennzeichen wie Altstadtkerne mit geringen Straßenbreiten, Einbahnstraßen oder Kopfsteinpflaster Auswirkungen auf die Fahrradeignung haben. Städte mit topographisch bewegtem Terrain werden als benachteiligt für die Verbreitung von (nicht-motorisierten) Lastenrädern gesehen. Eine Grundvoraussetzung für den Fahrrad- und den Lastenradeinsatz ist für nahezu alle Befragten eine nach aktuellem Stand der Technik ausgebaute Fahrradinfrastruktur für den fließenden Verkehr (z.B. Radfahrstreifen, fahrradfreundliche Gestaltung von Knotenpunkten) und den ruhenden Verkehr (sichere und ausreichende Abstellanlagen).

Positiver Einfluss auf die Adoption von Lastenrädern konnte in Städten mit lokalen Pilotprojekten erreicht werden. Das sind etwa kommunale Förderprogramme, wie es sie in den Städten München, Bremen, Herne und Graz gibt. Hier werden die Möglichkeiten der gewerblichen Nutzung sichtbar und regen andere Marktteilnehmer und Vertreter weiterer Wirtschaftszweige zur Nachahmung an. Kleinere Unternehmen erhalten dadurch die Möglichkeit, ohne finanzielles Risiko Erfahrungen mit dem Lastenrad zu sammeln. Akteure in lastenradaffinen Wirtschaftszweigen wie der Kurierdienstleistung haben sich zu lokalen oder stadtübergreifenden Netzwerken zusammengeschlossen. Kommunikation und Erfahrungsaustausch findet in sozialen Netzwerken oder während lokaler Events (etwa Kurierwettbewerbe) statt und beschleunigt Diffusionsprozesse innerhalb dieser Berufsgruppe. Der Pioniergeist ist im Selbstverständnis vieler Kuriere fest verankert und führte bereits bei anderen Produkten zu einer Adoption durch breitere Konsumentenschichten (z.B. Kuriertaschen aus Lkw-Plane oder Eingangsräder).

Daneben findet die gewerbliche Lastenradnutzung auch in Räumen mit hoher privater Fahrradaffinität einen geeigneten Nährboden, beispielsweise durch die Existenz eines spezialisierten Fahrradeinzelhandels. In Deutschland hat sich, so die Einschätzung einzelner Branchenkenner, noch keine flächendeckende Fahrradkultur etabliert, sie ist vielmehr stark regional oder sogar stadtteilabhängig verortet. Während Städte wie Münster oder Oldenburg einen Radverkehrsanteil am Verkehrsaufkommen von rund 40 % aufweisen (DIFU 2012), liegt dieser in Kaiserlautern nur bei 2,5% und in Chemnitz bei 5,5% (Ahrens 2010). Nur in einigen großstädtischen Quartieren (z.B. in Prenzlauer Berg), sind Lastenräder (vor allem für die Familien- oder Einkaufsmobilität) bereits heute ein Bestandteil des öffentlichen Lebens geworden.

### **6.5.3 Ökonomisches Umfeld**

Durch das stark wachsende Bestellaufkommen im Internet verändern sich die Warensendungen hinsichtlich eines größeren Aufkommens bei kleiner werdenden Sendungsgrößen (Ickert et al. 2007). Das nachgelagerte Wachstum der KEP-Branche (vgl. BIEK 2014) sehen zahlreiche Gesprächspartner als Treiber für einen verstärkten Lastenradeinsatz. Insbesondere in der Endkundenbelieferung könnten zukünftig von Paketdienstleistern auch kleinere Fahrzeugkategorien wirtschaftlich betrieben werden.

Der wachsende Anspruch des Sendungsempfängers an eine möglichst kurze Zeitspanne zwischen Bestellung und Zustellung, insbesondere innerhalb eines präzisen Zeitfensters noch am selben Tag (Same Day Delivery), wird als weiterer Treiber für den Einsatz von kleineren Fahrzeugen gesehen. Branchenkenner erwarten in der Geschäftskundenbelieferung für diese Zustellungsform eine höhere Zahlungsbereitschaft als im Endkundengeschäft.

Auch der durch den E-Commerce unter Druck gesetzte stationäre Handel könnte in Zukunft verstärkt Heimzustellung anbieten. Dies betrifft prinzipiell überregional tätige Filialisten, aber auch lokale Allianzen von inhabergeführtem Einzelhandel. Die Neuentwicklung dieser komplementären Geschäftsmodelle bietet die Möglichkeit, Lastenräder frühzeitig konzeptionell einzubinden.

## **6.6 Unternehmensspezifische Einflussfaktoren**

Im Folgenden werden unternehmensspezifische Faktoren im Spannungsfeld von rationaler Abwägung und subjektiven Einstellungen beschrieben, die einen Einfluss auf die Affinität von Unternehmen – den Adopter – gegenüber Lastenrädern haben. Zunächst werden die flottenbezogenen Entscheidungsprozesse in Unternehmen nachvollzogen, welche bereits unabhängig von der Bewertung des Lastenrads erste Erkenntnisse zur Eignung spezifischer Marktsegmente ermöglichen. Als zweites Analyseraster bieten unternehmerische (rationale) Strategien unterschiedliche Rahmen für die Lastenrad-Adoption. Drittens wird der Einfluss von Faktoren erläutert, die auf subjektiven Einstellungen und dem Wissen der Entscheider basieren.

### **6.6.1 Organisationale Entscheidungsstrukturen bei der Anschaffung gewerblich genutzter Lastenräder**

Bei der Untersuchung von unternehmensbezogenen Faktoren im Adoptionsprozess von Lastenrädern ist zunächst von Relevanz, wer im Unternehmen Entscheidungen hinsichtlich der Fahrzeuganschaffung trifft und wie diese Entscheidungen getroffen werden. Die vorgestellte

Typologie von Nesbitt & Sperling (2001) lässt sich auf die gewerbliche Lastenradnutzung anwenden, indem die Ausprägungen der beiden strukturierenden Dimensionen Zentralisierung und Formalisierung anhand der Ergebnisse der Expertengespräche abgeleitet werden. Dies führt bei einigen der identifizierten Marktsegmente zu einer Zuordnung zu den von Nesbitt & Sperling (2001) vorgeschlagenen Flottenentscheidungsstilen (siehe Tab. 15).

Flottenentscheidungen bei Kurierdienstleistern werden autokratisch getroffen. Dies ergibt sich daraus, dass im Regelfall selbstständige Kurierunternehmer mit ihrem eigenen (und einzigen) „Flotten“-Fahrzeug operieren und provisionsbasiert an eine Vermittlungszentrale angeschlossen sind. Nach Nesbitt & Sperling (2001) sind autokratische Entscheidungsstrukturen wie im Kuriergeschäft einer Innovationsadoption aufgrund des dynamischen Wettbewerbsumfeldes förderlich.

Größere Heterogenität innerhalb eines Marktsegments und demnach eine weniger klare Zuordnung zu einem Entscheidungsstil liegt bei Lieferservices vor. Entscheidungen werden häufig bürokratisch getroffen (etwa bei systemgastronomischen Franchise-Konzepten), können aber bei Start-ups und Kleinunternehmen auch autokratisch oder bei Lastenrad-Kollektiven demokratisch fallen. Größte Heterogenität und alle Formen von Entscheidungsstilen liegen im Personenwirtschaftsverkehr vor.

*Tab. 15 Typologie flottenbezogener Entscheidungsstrukturen für die Marktsegmente gewerblicher Lastenradnutzung*

Marktsegment	Zentralisierung	Formalisierung	Typ
Postdienstleistung	niedrig	hoch	bürokratisch
Kurierdienstleistung	hoch	niedrig	autokratisch
Paketdienstleistung	niedrig	hoch	bürokratisch
Lieferservice	niedrig (bei KU hoch)	hoch (bei KU niedrig)	bürokratisch (bei KU autokratisch/ demokratisch)
Werkverkehr	niedrig	hoch	bürokratisch
Personenwirtschaftsverkehr	variabel	variabel	variabel

Das Marktsegment Werkverkehr kann dem bürokratischen Entscheidungstyp zugeordnet werden. Trotz einer breiten Nutzung konventioneller Fahrräder auf Werksgeländen, deren Einsatz und Wartung meist einem hohen Formalismus unterliegen, ist die Einführung von Pedelecs oder Lastenrädern unter anderem aufgrund fehlender Regularien oder fehlender Gefährdungsbewertung etc. gehemmt. So berichtet beispielsweise der Nachhaltigkeitsbeauftragte einer Flughafenbetreibergesellschaft, dass die Genehmigung von Pedelecs auf dem Firmengelände rund drei Jahre gedauert hat und zahlreiche interne Prozesse auslöste: z.B. Prüfung durch Vertreter von Arbeitssicherheit, Verkehrssicherheit, Betriebsrat und Geschäftsführung. Im Zuge des Arbeitsschutzes richten sich vor allem Großunternehmen und Betreiber von Industrieflächen nach Normen und Regelwerke für den Einsatz von Fahrzeugen. Für Fahrräder, insbesondere für Pedelecs und Lastenräder, sind solche Richtlinien nur in Einzelfällen (etwa bei einem Chemiewerk) vorhanden. Der mangelnde Grad an Formalisierung und offene Fragen bei Verkehrssicherheit, Haftung und Versicherung verhindern derzeit die Einführung von Pedelecs auf vielen Betriebsgeländen.

Bürokratische Entscheidungsstrukturen liegen auch in den Marktsegmenten Post- und Paketdienstleistung vor. Gleichwohl unterscheiden sich die Marktsegmente stark im Grad der bisherigen Fahrradnutzung. Für die Zustellung von Paketen stellt das Lastenrad noch eine unbedeutende Größe gegenüber leichten Nutzfahrzeugen dar und ist nur in Pilotprojekten zu finden, in der Briefzustellung kommen Lastenräder bereits zur Anwendung. Folglich differenzieren noch weitere unternehmens- oder fahrzeugspezifische Einflussfaktoren die Firmen mit bürokratischen Entscheidungsstilen in ihrer Affinität für Lastenräder.

#### **6.6.2 Lastenräder als Teil von Unternehmensstrategien**

Als weiterer unternehmensspezifischer Einflussfaktor wirkt die strategische Ausrichtung des Unternehmens. Im Gegensatz zu den fahrzeugunabhängigen Entscheidungsstrukturen können abweichende strategische Ziele zu unterschiedlichen Betrachtungen des Fahrzeug-Potenzials führen. In diesem Fall wären die Unternehmensstrategien kein direkter adopterspezifischer Faktor, sondern würden indirekt auf die Bewertung der Fahrzeugeigenschaften, also auf die produktspezifischen Faktoren wirken, die weiter unten behandelt werden.

Vor allem Anbieter gewerblichen Güterverkehrs (Marktsegmente Post-, Kurier- und Paketdienstleistung) führen im Rahmen ihrer gewinnorientierten Geschäftsstrategie für ihre Nutzfahrzeuge Berechnungen der Gesamtbetriebskosten durch, welche Kosten für Anschaffung und Betrieb beinhalten (Treibstoff, Verschleißteile, Inspektionen, Reparaturen, Reinigung, Versicherung, TÜV, Steuer, Strafmandate). Gewerbliche Lastenradnutzung birgt aus Sicht von zahlreichen Entscheidern hohe Potenziale zu Kostensenkungen. Gegenteiler Meinung sind insbesondere Unternehmen, in denen die Fahrzeugwahl eine geringe Relevanz für das Kerngeschäft aufweist. Unternehmen mit großen Werksgeländen führen selten Nutzen-Kosten-Analysen für Werksfahrzeuge durch. Die Fahrradnutzung wird per se als wirtschaftlicher angesehen, da die Entfernungen meist zu groß sind, um sie zu Fuß zurückzulegen und zu kurz, um ein Kfz und dessen Gesamtbetriebskosten zu rechtfertigen.

Ökologische Beweggründe zur Lastenradnutzung spielen für die meisten Unternehmen eine untergeordnete Rolle. Einige wirtschaftliche Akteure verfolgen hingegen grüne Geschäftsmodelle und stehen der gewerblichen Fahrradnutzung aufgeschlossen gegenüber. Einzelne Start-up-Unternehmen (etwa für die Zustellung von frischen Lebensmitteln) haben ihre Dienstleistungen sogar aktiv an den Potenzialen von Lastenrädern ausgerichtet – das Nutzen eines umweltfreundlichen Verkehrsmittels stellt für diese Art von Unternehmen also keine Alternative, sondern eine Bedingung dar.

Entscheidend für die Nachfrage nach umweltfreundlicher Logistik ist die Kundenstruktur von Unternehmen. Obwohl die Mehrheit der Gesprächspartner auf Kundenseite keine höhere Zahlungsbereitschaft für CO<sub>2</sub>-freie Sendungen sieht, haben dennoch mittlerweile viele Unternehmen mit hohem Ressourcenverbrauch (etwa die international tätigen Paketdienstleister) eigene Nachhaltigkeitsstrategien entwickelt.

Unternehmerische Nachhaltigkeitsstrategien können eng mit Marketing-Zielen verknüpft sein. Sind diese auf eine ökologische Unternehmenswahrnehmung gerichtet, kann das Lastenrad strategisch positioniert werden. Die mit dem Verkehrsmittel Lastenrad verbundenen positiven Konnotationen

(ökologisch, effizient, geräuscharm, sozial verträglich) sollen hierbei zum Imagegewinn beitragen. Relevante verkehrliche Wirkung erhalten Marketingbemühungen vor allem dann, wenn sie zeitgleich zur Neukonzeption von Zustellkonzepten auf der letzten Meile führen. Diese weisen in der Regel die schlechteste Umweltbilanz entlang der Supply Chain auf.

Unternehmen, deren aktuelles Geschäftsmodell sensitiv auf politische Maßnahmen reagiert (z.B. Paketdienstleister), stehen dem Test von Lastenrädern aufgeschlossen gegenüber. Sollte beispielsweise der Einsatz von Kraftfahrzeugen in innerstädtischen Gebieten substanziell eingeschränkt werden, sind diese Unternehmen anpassungsfähiger und erlangen somit möglicherweise einen Vorteil gegenüber anderen Marktteilnehmern.

### **6.6.3 Subjektive Einstellungen der Entscheider**

Neben den Entscheidungsstrukturen und strategischen Determinanten beeinflussen auch individuelle Präferenzen und das Engagement von Einzelpersonen die Adoption von Lastenrädern im gewerblichen Kontext. Dies konnte sogar für Großunternehmen mit einem bürokratischen flottenbezogenen Entscheidungsstil bestätigt werden.

Entscheidungsträger haben häufig keine persönlichen Erfahrungen mit Pedelecs oder Lastenrädern und bewerten die Informationsbeschaffung hierzu als aufwendig. Wenngleich sich Lastenradhersteller bemühen, den Bekanntheitsgrad ihrer Produkte zu erhöhen, ist das Fachwissen bei den meisten Flottenentscheidern weiterhin gering. Als Beispiel nannten Branchenkenner den geringen Wissensstand in Bezug auf verfügbare Akkugrößen und elektrische Reichweiten, die gesetzliche Gleichstellung von Pedelecs bis zu 250 Watt Dauerunterstützung mit konventionellen Fahrrädern, die vielfältigen Bauformen oder den transportierbaren Gütermengen. Mangelndes Wissen, fehlende Erfahrung und eine geringe Risikobereitschaft und Experimentierfreude gegenüber alternativen Transportmitteln führen tendenziell zu einer ablehnenden Einstellung gegenüber gewerblicher Fahrradnutzung. Kongruent hierzu berichten Hersteller, dass sich der erfolgreiche Einzug des Lastenrads in den unternehmerischen Kontext oft über das private Interesse und der eigenen Erfahrung der Entscheider vollzieht.

Einige Entscheider, die sich aktiv mit den Potenzialen von Lastenrädern beschäftigt haben, formulierten, dass sie es für nicht „zumutbar“ oder „vermittelbar“ hielten, Fahrräder als Standardverkehrsmittel für die Mitarbeiter einzusetzen. Unternehmensvertreter schreiben den potenziellen Nutzern also Denkweisen zu und lehnen die gewerbliche Lastenradnutzung aus darauf bezogener Rücksichtnahme ab. Hierbei wird häufig die Witterung oder die Verkehrssicherheit genannt, aber auch ein mangelndes Interesse an körperlicher Betätigung seitens der Mitarbeiter oder sehr persönliche Motivationen wie die Sorge um Aussehen oder Ansehen. Ferner wurde eine höhere Ablehnungsneigung bei Beschäftigten mit Migrationshintergrund berichtet, die mit der verbreiteten Geringschätzung des Fahrrads gegenüber verbrennungsmotorischen Fahrzeugen in ihren Herkunftsländern zusammenhängt.

Firmen- oder Dienstwagen sind in vielen Branchen wichtige Anreize und kompensieren für begleitende negative Aspekte des Berufs. Der Pkw stellt für viele Entscheider und Nutzer weiterhin ein Prestigeobjekt bzw. Statussymbol dar, welches nicht durch ein Fahrrad substituierbar ist. Im



Gegensatz hierzu wurde der Spaßfaktor beim Fahrradfahren von mehreren Experten aus unterschiedlichen Marktsegmenten angesprochen. Fahrer von Lieferservices oder Werkstätige, die für ihre Arbeit (etwa Reparaturen) das Fahrrad nutzen, zeigen in der Regel eine höhere Jobzufriedenheit als Pkw-Nutzer mit denselben Tätigkeitsprofilen.

## 6.7 Fahrzeugspezifische Einflussfaktoren

Im Folgenden stehen die Fahrzeugeigenschaften im Vordergrund, die von den Unternehmen als entscheidend in ihrer Bewertung des Lastenrads genannt wurden. Das breite Spektrum zeigt den produktabhängigen Einfluss auf die Adoption von Lastenrädern im Wirtschaftsverkehr, wenngleich Wirkstärken oder auch Wirkrichtungen einzelner Faktoren zwischen den Marktsegmenten variieren und von den unternehmensspezifischen Merkmalen beeinflusst werden. Die Gliederung der fahrzeugspezifischen Merkmale ist an die von (Rogers 2003) vorgeschlagenen Gruppen angelehnt, wobei abgeleitet aus den Expertengesprächen vor allem drei Kategorien im Vordergrund stehen: Kompatibilität, relativer Vorteil und Erprobbarkeit von Lastenrädern (Tab. 16).

Tab. 16 *Fahrzeugspezifische Einflussfaktoren*

<b>Eignung für Transportaufgaben (Kompatibilität)</b>	<b>Vergleich des Lastenrads zu konventionellen Fahrzeugen (relativer Vorteil/Nachteil)</b>	<b>Verfügbarkeit von Lastenrädern (Erprobbarkeit)</b>
<ul style="list-style-type: none"> <li>• Materialqualität bei konventionellen Bauteilen (Bremsen, Rahmen, Tretlager, Laufräder etc.)</li> <li>• Elektrifizierung</li> <li>• Ladekapazität (Sendungsgröße, Sendungsgewicht, Sensitivität der Güter, Anzahl der Güter)</li> <li>• Sendungsdistanz</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Betriebskosten</li> <li>• Effizienz (Schnelligkeit, Wendigkeit, Raumbedarf, Flotten-Diversifizierung)</li> <li>• Planbarkeit (Verkehrssensitivität, Parkplatzsuche)</li> <li>• Fahrzeuginstandhaltung, Fahrzeuganpassung</li> <li>• Werbewirksamkeit</li> <li>• Persönliche Bedürfnisse (Komfort, Witterungsabhängigkeit, Sicherheit)</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Sichtbarkeit</li> <li>• Testmöglichkeit</li> <li>• Verfügbarkeit im Handel</li> <li>• Modellvielfalt</li> <li>• Leihmöglichkeit</li> </ul>

### 6.7.1 Eignung für Transportaufgaben (Kompatibilität)

Um die Kompatibilität des Fahrzeugs mit den verkehrlichen Anforderungen des Unternehmens zu bewerten, betrachten Entscheider vor allem die Kriterien Materialqualität, Elektrifizierung, Ladekapazität (Größe, Gewicht, Sensitivität und Anzahl der Güter) und Sendungsdistanz.

Häufig wurde von Unternehmen und Branchenkennern die fehlende Qualität des bestehenden Fahrradangebots für gewerbliche Zwecke genannt. Komponenten wie Bremsen werden für Laufleistungen von Privatpersonen konzipiert, im gewerblichen Einsatz tritt allerdings eine erhöhte Abnutzung und größere Wartungsanfälligkeit auf. Beim Test von Fahrrädern eines Dienstleisters für Facility Management trat bei vier von sieben Rädern ein Totalschaden innerhalb der ersten vier Monate auf (mangelnde Qualität der Rahmen, Tretlager und Laufräder). Branchenkenner bemerken allerdings in den letzten Jahren eine Diversifikation und Qualitätsverbesserung des Marktes für gewerbliche Fahrräder. Die wachsende Verfügbarkeit von leistungsfähigen Elektromotoren wurde hierbei als zentraler positiver Einflussfaktor genannt, da dadurch neue Lastenradkonzepte für den

Transport von schweren Gütern über weite Distanzen bei geringer körperlicher Anstrengung möglich werden.

In den Marktsegmenten Post- und Kurierdienstleistung, Werkverkehr und Personenwirtschaftsverkehr bieten Lastenräder für viele Einsatzzwecke ausreichend Ladekapazität. Sie weisen bei diesen kleinteiligen Sendungen folglich einen deutlich wirtschaftlicheren Quotienten aus transportierten Gütern zu Eigengewicht auf. In anderen Marktsegmenten wird die Ladekapazität hingegen als Ausschlusskriterium für eine großflächige Lastenradnutzung genannt. So stehen Lastenrädern bei den derzeitigen Heimbeförderungs-Konzepten des Lebensmitteleinzelhandels nicht zur Debatte, da bereits die Warenkörbe einzelner Bestellungen häufig größer sind als die Zuladungspotenziale der verfügbaren Modelle. Problematisch kann ebenso die Beförderung von sensiblen Gütern sein, etwa bei stoß- oder temperaturempfindlichen Lebensmitteln. Insbesondere im Marktsegment Paketdienstleistung ist aufgrund der Anzahl der Sendungen je Tour keine direkte Substitution eines verbrennungsmotorischen Fahrzeugs durch ein Lastenrad möglich. Dadurch wird ein zusätzlicher Güterumschlag notwendig, etwa im Rahmen eines innerstädtischen Mikrokonsolidierungszentrums oder eines mobilen Depots. Die Auslieferung mit Lastenrädern kann in stark verdichteten Gebieten mit hoher Auftragsdichte und insbesondere in Räumen mit Zufahrtsbeschränkungen für Pkw dennoch wirtschaftlich sein. Allerdings zieht die Implementierung eines alternativen logistischen Systems auf der letzten Meile weitere Umstrukturierungen etwa der Marktgebiete anderer Fahrzeuge nach sich. Nach Rogers (2003) liegt für diesen Fall neben einem geringen Grad an Kompatibilität auch ein hoher Grad an Komplexität vor, daher stehen Unternehmen diesem Eingriff in die Geschäftsabläufe skeptisch gegenüber.

In puncto Sendungsdistanzen sind Lastenräder sehr gut geeignet für Kurierdienstleistungen sowie Lieferservices in großstädtischen Zentren, wo das Fahrrad zur Distanzüberwindung von bis zu fünf km ähnlich schnell oder schneller als ein Kraftfahrzeug operieren kann. Gründe hierfür sind das Entfallen der Parkplatzsuche durch die legale Abstellmöglichkeit auf dem Gehweg, das Passieren von gestauten Fahrzeugen, Abkürzungen durch Parks und für Fahrradfahrer freigegebene Einbahnstraßen sowie die bessere Erreichbarkeit von Hinterhöfen und verkehrsberuhigten Gebieten. Der Einsatz auf der letzten Meile der Handelslogistik scheitert hingegen tendenziell an der zu großen Entfernung zu den Distributionszentren außerhalb der Stadt. Ähnliches gilt für spezialisierte Dienstleistungsunternehmen, deren Marktgebiete in der Regel zu groß für einen ökonomischen Fahrradeinsatz sind.

#### **6.7.2 Vergleich des Lastenrads mit konventionellen Fahrzeugen (relativer Vorteil/Nachteil)**

Entscheider vergleichen die Eignung der Nachhaltigkeitsinnovation Lastenrad mit konventionellen Fahrzeugen (Pkw oder leichte Nutzfahrzeuge). Bewertungskriterien, die zu einem relativen Vorteil oder Nachteil führen können, sind Betriebskosten, Effizienz, Planbarkeit, Fahrzeuginstandhaltung und -anpassung sowie Werbewirksamkeit. Ebenso fließen persönliche Bedürfnisse der Fahrer und Fahrerinnen in die Beurteilung der Fahrzeuge ein.

Sollten die Lastenräder kompatibel mit den Transportaufgaben der Unternehmen sein, sind die deutlich geringeren Betriebskosten ein wesentlicher Vorteil. Diese liegen beispielsweise für einen

Kleinwagen im Marktsegment Lieferservice typischerweise bei 300 bis 400 € monatlich und für ein Elektro-Lastenrad bei rund 40 € monatlich.

Lastenräder können zur Steigerung der Effizienz und Servicequalität von Unternehmen beitragen. In Räumen mit hoher Siedlungs- und Kundendichte können bei einigen Unternehmen durch die Nutzung des Fahrrads täglich mehr Kunden im gleichen Zeitraum bedient werden. Hier bieten vor allem Schnelligkeit, Wendigkeit und geringer Raumbedarf von Lastenrädern im dichten Stadtverkehr Vorteile gegenüber konventionellen Kraftfahrzeugen. Lastenräder diversifizieren die Fahrzeugflotte, so dass sie ferner indirekt zu einer Effizienzsteigerung des übrigen Fuhrparks beitragen können. Ein Qualitätsmerkmal des Lastenrads stellt die zeitliche Planbarkeit dar. Selbst wenn dieses Verkehrsmittel nicht auf allen innerstädtischen Routen die schnellste Alternative ist, so ermöglicht es dennoch im Gegensatz zu Kraftfahrzeugen aufgrund der geringeren Sensitivität gegenüber Verkehrsstörungen und dem Wegfall der Parkplatzsuche eine genauere zeitliche Planbarkeit der Fahrten.

Bezüglich Fahrzeuginstandhaltung (Wartung und Reparatur) haben Lastenräder gegenüber gewerblichen Pkw-Flotten mit ihrem sehr dichten Servicenetzwerk einen klaren Nachteil. Insbesondere die Ansprüche von Großunternehmen im Marktsegment Werkverkehr (z.B. Komplettaustausch von defekten Rädern innerhalb von 24 Stunden) können selbst die wenigen auf die Wartung von Fahrradflotten spezialisierten Dienstleister derzeit nicht erfüllen. Ebenso sind weder Spezialbauteile für moderne Elektro-Lastenräder flächendeckend verfügbar, noch existiert ein nachgelagerter Markt für branchenspezifische Ausbauten (etwa wechselbare, standardisierte, automatisch verschließbare Transportboxen), welche für Paketdienstleister von hoher Bedeutung sind.

Einer der am häufigsten genannten Treiber für den Einsatz von Lastenrädern ist ihre Werbewirksamkeit. Einerseits kann das Fahrzeug direkt zum Träger von Eigen- oder Fremdwerbung werden und als neuartiges Verkehrsmittel im urbanen Raum die Aufmerksamkeit der Passanten auf sich ziehen, andererseits sehen einige Unternehmen die Fahrzeuge wie oben beschrieben als eine gelungene Form des Nachhaltigkeits-Marketings.

Adopter aus fahrradferneren Branchen wie Pflegedienste erwähnen eher vereinzelt Inkompatibilitäten, die auf persönlichen Bedürfnissen beruhen, wie mangelnden Komfort, Witterungsabhängigkeit und Sicherheit.

### **6.7.3 Verfügbarkeit von Lastenrädern (Erprobbarkeit)**

Hemmend für die Verbreitung von Lastenrädern ist ihre derzeit noch geringe Verfügbarkeit – ein Kriterium, das eng mit dem bereits beschriebenen sozialräumlichen Kontext verknüpft ist. Die positive Wirkung von lokalen Pilotprojekten (Sichtbarkeit) ist dadurch begründet, dass das Testen von Lastenrädern sehr wichtig für den Adoptionsprozess ist. Vorbehalte, Unwissenheit oder Berührungsängste von Entscheidern und Nutzern lassen sich durch eine größere generelle Verfügbarkeit und Modellvielfalt von Lastenrädern abbauen. Allerdings hält neben wenigen auf Lastenräder spezialisierten Geschäften ein Großteil des Fahrradeinzelhandels aufgrund der hohen Kapitalbindung und der geringeren Margen keine Lastenräder vor. Gleichmaßen ist der

Verleihmarkt für Lastenräder noch sehr unterentwickelt, er beschränkt sich auf einzelne Fahrzeuge in wenigen Städten und richtet sich vor allem an Privatanutzer.

## **6.8 Zusammenfassung und Ausblick**

Der vorliegende Beitrag soll zum Verständnis der Diffusion von umweltfreundlichen Fahrzeugen im Wirtschaftsverkehr beitragen, indem am Beispiel des Lastenrads das vielfältige Faktorenspektrum dargestellt und strukturiert wird, das die Adoption beeinflusst. Um dieses bisher wenig erforschte Feld explorativ zu beschreiben, wurde ein umfassender qualitativer Ansatz verfolgt, im Zuge dessen 45 leitfadengestützte Expertengespräche mit Unternehmensvertretern und Branchenkennern durchgeführt wurden. Theoretische Erkenntnisse zu organisationalen Kauf- und Flottenentscheidungen ließen sich branchenspezifisch auf die jeweiligen Bedingungen beim Einsatz von Lastenrädern anwenden. Die Gruppierung der identifizierten Einflussfaktoren erfolgte in fahrzeugspezifische (allgemeiner: produktspezifische), unternehmensspezifische (allgemeiner: adopterspezifische) und umfeldspezifische Merkmale.

Bei der Vermarktung von Lastenrädern stehen derzeit einzelne fahrzeugspezifische Kriterien im Vordergrund, etwa der Anschaffungspreis oder das Gewicht der transportierbaren Güter. Die Untersuchungen zeigten allerdings eine größere Bandbreite relevanter Entscheidungskriterien. Lastenräder müssen kompatibel zu den Transportaufgaben der Unternehmen und ihre Anschaffung sowie ihr Betrieb müssen vorteilhaft gegenüber den bestehenden Fahrzeugen sein. Da Lastenräder meist auch nicht aus dem Privatbereich bekannt sind, sollten sie für Probefahrten verfügbar sein. Die Wahrnehmung der einzelnen fahrzeugspezifischen Merkmale hängt stark von den Eigenschaften des Adopters ab. Diese werden determiniert durch die Entscheidungsstrukturen im Rahmen der Flottenanschaffung, die strategische Ausrichtung des Unternehmens sowie den subjektiven Einstellungen der Entscheider. Umfeldspezifische Merkmale bilden die dritte Einflussosphäre. Im Kontext der gewerblichen Lastenradnutzung sind hier insbesondere die regulativen Rahmenbedingungen, der sozialräumliche Kontext und das ökonomische Umfeld von Bedeutung.

Die bestehenden Einsatzformen für Lastenräder im Wirtschaftsverkehr sind vielfältig und wurden mithilfe einer Sekundäranalyse in die sechs Marktsegmente Postdienstleistung, Kurierdienstleistung, Paketdienstleistung, Lieferservice, Werkverkehr und Personenwirtschaftsverkehr gegliedert. Während einige Marktsegmente auch in sich sehr heterogen sind (etwa Personenwirtschaftsverkehr), zeigen die Akteure in anderen Marktsegmenten eine recht homogene Bewertung der Wichtigkeit einzelner Einflussfaktoren. So sind beispielsweise Paketdienstleister und Unternehmen, die Lieferservice anbieten, deutlich vulnerabler gegenüber Änderungen in den politischen Rahmenbedingungen (etwa Zufahrtsbeschränkungen für verbrennungsmotorische Fahrzeuge) als andere. Durch die Einführung des Mindestlohns sind bereits zahlreiche Unternehmen mit geringem Lohnniveau im Marktsegment Personenwirtschaftsverkehr unter Handlungsdruck geraten, die Kosten an anderer Stelle, also etwa bei den Flottenfahrzeugen zu senken.

Der Beitrag hat gezeigt, dass sich das Angebot an (elektrischen) Lastenrädern in Qualität und Diversität weiter verbessern muss, um so noch spezifischer die Bedürfnisse der Unternehmen befriedigen zu können und eine größere Marktdurchdringung zu erreichen. Die Aspekte

Umweltfreundlichkeit und Werbewirksamkeit werden in der frühen Phase der Diffusion von Lastenrädern von einigen Adoptern zwar als dienlich bewertet, jedoch müssen auch umweltfreundliche Konzepte betriebswirtschaftlich umsetzbar sein. Nur dann werden zahlreiche Demonstrations-, Marketing- oder Pilotvorhaben eine operative Verstetigung erfahren und zu einer substanziellen Emissionseinsparung im städtischen Wirtschaftsverkehr beitragen.

In einem weiteren Schritt sollte die Rolle des städtischen Raums im Adoptionsprozess näher betrachtet werden. Lastenräder sind bisher ein auf (Teilräume von) Großstädten konzentriertes Phänomen. Die dort entstehenden Verkehrsprobleme erhöhen den Handlungsdruck auf Kommunen, begünstigende Rahmenbedingungen für alternative Fahrzeuge zu schaffen. Gleichzeitig sind in diesen Räumen zahlreiche Wirtschaftsakteure mit günstigen unternehmensspezifischen Merkmalsausprägungen ansässig (z.B. demokratische Entscheidungsstrukturen, ökologisch motivierte Geschäftsideen, aufgeschlossene Haltung der Entscheider gegenüber Fahrrädern), so dass dort gewerbliche Lastenradnutzung zum sichtbaren Bestandteil des öffentlichen Raums werden kann. Weiterer Forschungsbedarf besteht in der Quantifizierung der Wirkstärke von Treibern und Hemmnissen in den verschiedenen Marktsegmenten. Die in diesem Beitrag vorgenommene Darstellung des komplexen Spektrums an Einflussfaktoren auf die Adoption des Lastenrads liefert dafür wichtige erste Anhaltspunkte.

## 7 Fachartikel B-2: Drivers and Barriers for the Adoption of Cargo Cycles: An Exploratory Factor Analysis

Lars Thoma, Johannes Gruber

Thoma, L. & Gruber, J. (2020): Drivers and barriers for the adoption of cargo cycles: An exploratory factor analysis. In: *Transportation Research Procedia*, 46, 197-203.

<https://doi.org/10.1016/j.trpro.2020.03.181>

### Abstract

A variety of drivers and barriers for the adoption of cargo cycles has been described in contemporary academic literature. This paper aims at reducing this complexity by identifying their underlying factor structure. To achieve this aim, 389 organizations interested in cargo cycles rated their agreement towards the adoption of cargo cycles with 23 literature-derived drivers and barriers. An exploratory factor analysis yielded three driver factors (*soft factors*, *cost benefits* and *urban advantages*) and four barrier factors (*vehicle limitations*, *worries and perils*, *riders' concerns* and *infrastructure constraints*) which are interpreted and discussed.

**Keywords:** Cargo cycles, urban logistics, drivers and barriers, exploratory factor analysis (EFA)

### 7.1 Introduction

Urban freight transport has been growing considerably in past years (Schubert et al. 2014). While benefiting the economy, transport-related externalities such as congestion and emissions burden most cities in the world. In Germany, several municipalities took unprecedented measures and imposed bans for older diesel vehicles.

Cargo cycles have proven to be a feasible solution for various last-mile operations with a substantial potential for shifting trips away from conventional vehicles (Gruber et al. 2016). Although cargo cycles are increasingly used in urban logistics, they still play a marginal role in urban logistics compared to conventional vehicles. As local and federal policy-makers progressively promote cargo cycle use, a detailed understanding of drivers and barriers to the adoption of cargo cycles is crucial.

Several studies and reports that have described a variety of drivers and barriers for the adoption of cargo cycles will be briefly presented in the following.

One of the first and most extensive collections, Transport for London (2009), performed several case studies and expert interviews in order to produce a list of pros (purchase cost, running costs, parking costs and congestion-charge, speed in congestion, driver training requirement, low environmental impact) and cons (security, limited range and payload, driver fatigue, seasonality) for the adoption of cargo cycles.

Cyclelogistics is a multi-phase European project trialing and supporting cargo cycle use among municipalities, companies, and households (Wrighton & Reiter 2016)<sup>10</sup>. Given the bicycle-advocating nature of the project, cargo cycles' advantages are described to a greater extent. However, when evaluating pilot projects, insights concerning barriers can be derived, such as the need for increased political regulation with regards to restricting conventional vehicles' use and providing more financial incentives for cargo cycle use (Wrighton & Reiter 2016).

Vijayakumar (2017) provided a Toronto-based perspective on the benefits and barriers of cycle logistics. Among the benefits described were emissions reduction, increased efficiency (cost savings and/or speed advantages) compared to conventional vehicles, improved traffic flow, positive image and health. Barriers were seen in bicycle infrastructure, operative implementation barriers when exchanging logistics data, a lack in cultural understanding, and unclear Canadian e-bike regulations).

Drawing on project reports and expert interviews, an extensive overview of more than 30 parameters influencing the adoption of cargo cycles was provided by Rudolph & Gruber (2017). These parameters have been categorized along the adoption process and distinguish between environment-specific, company-specific, and product-specific elements of influence.

In summary, an extensive qualitative description of the drivers and barriers for the adoption of cargo cycles has been provided in literature. However, to the best of our knowledge, this variety of items has not yet been quantified in order to identify an evidence-based overarching factor structure. In addition, few data exist to indicate which of these items rank higher in importance than others. Some issues might clearly be seen as advantages or disadvantages of cargo cycles by most potential users, other parameters might be seen more ambiguously. Hence, this paper aims at finding an evidence-based classification of the drivers and barriers for the adoption of cargo cycles, as well as providing a quantification of these factors by executing an exploratory factor analysis.

## **7.2 Method**

### **7.2.1 Project background and sample**

Data for this study were collected in the context of Europe's largest public cargo cycle testing scheme conducted by the German Aerospace Center (DLR) and funded by the German Federal Ministry for the Environment. The cargo cycle testing scheme (titled "*Ich entlaste Städte*", meaning "*Taking the load off cities*") consists of 150 cargo cycles that are offered to both public and private organizations for testing over a three-month-period (see Fig. 18 for an image of cargo cycles offered in this project). Organizations interested in participating were given an online questionnaire including a set of 23 items about potential drivers and barriers of cargo cycle use as listed in Tab. 17. The respondents stated their agreement with these statements in randomized order on a 5-point-Likert scale ranging from "*I don't agree*" (1) to "*I completely agree*" (5).

---

<sup>10</sup> In der Veröffentlichung ist bei dieser Quelle fälschlicherweise Vijayakumar 2017 angegeben.



Fig. 18 Cargo cycles offered for testing within this research project.<sup>11</sup>

Tab. 17 Set of 23 items with positive and negative statements concerning cargo cycle use

Item (with direction)	Item wording as presented to the survey respondents
– Spatial coverage	Cargo cycles cannot cover our business catchment area.
– Loading capacity	The loading capacity of the cargo box is insufficient.
– Weather	Bad weather restricts usability of cargo cycles.
+ Electric range	The electric range is sufficient for our purposes.
+ Health	Cargo cycles promote employees' health.
+ Image	Cargo cycles promote our image.
+ Travel time reliability	Cargo cycles' travel times can be planned reliably (not affected by congestion).
– Theft	The cargo cycle could get stolen.
– Organizational effort	The implementation of cargo cycles requires organizational effort.
– Implementation cost	The implementation of cargo cycles is costly.
– Payload damage	The payload could be damaged during transport.
+ Purchase cost	Cargo cycles are cheaper than motor vehicles.
+ Maintenance cost	Cargo cycles have lower maintenance costs than motor vehicles.
+ Flexible parking	Cargo cycles offer greater flexibility concerning parking or loading/unloading.
+ Accessibility	Using cargo cycles I can reach access-restricted areas (e.g. pedestrian zones)
+ Environmental goals	Cargo cycles help to reach corporate environmental goals.
+ Travel time	I reach my destinations faster by cargo cycle than by car.
– Employee acceptance	Employees will not accept cargo cycles.
– Handling experience	Riding cargo cycles requires experience.
+ Fun	Employees enjoy using cargo cycles.
– Cycle infrastructure	Cycle infrastructure is inadequate.
– Safety	Using cargo cycles in traffic is dangerous.
– Service network	There is no service network for cargo cycles.

<sup>11</sup> Foto: Amac Garbe / DLR;

Bauformen von links nach rechts: Long John, Trike, Longtail, Lieferbike, Schwerlastenfahrrad (siehe Tab. 1).



A total of 389 ratings collected between May and December 2018 were included into analysis for the present article. The sample consists of 80 female and 309 male respondents. Most respondents are fleet decision-makers in their organization (92%). The mean age is 43.9 years (SD=10.3). Respondents represent a broad variety of organization types (54% self-employed, 20% private corporations, 12% public organizations and 14% nonprofit or other organizations), as well as sizes, with a share of 63% corresponding to organizations with a maximum of 9 employees. Other organization sizes were 10-24 employees (14%), 25-49 employees (9%), 50-250 employees (8%) and more than 250 employees (7%).

### **7.2.2 Statistical analysis**

Exploratory factor analysis (EFA) is a data reduction method applied to a larger pool of items in order to identify an underlying factor structure (Field 2013, Mulaik 2009). We used principal component factor extraction with varimax rotation, because it allows for a clear interpretation of the factor structure by aiming for each item to load highly on one factor and minimizing loadings on the remaining factors. The number of factors was determined by using standard recommendations of scree cut-off points (Cattell 1966) and the Kaiser rule, extracting only factors with an eigenvalue larger than 1 (Kaiser 1960).

The data's suitability for factor analysis was determined prior to analysis by applying a Kaiser-Meyer-Olkin (KMO) criterion. In the present sample, the KMO criterion was .71 which is above recommended cut-offs ranging between 0.5 (Cleff 2015, Field 2013, Hartas 2015) and 0.6 (Möhring & Schlütz 2013, Tabachnick & Fidell 2007). Additionally, Bartlett's test hypothesizing no correlation between items produced a significant result ( $p < .001$ ), indicating a satisfactory number of correlations between items (Bartlett 1954). Taken together, the KMO criterion and Bartlett's test indicate the appropriateness of the data set for EFA.

In a second step, unweighted factor scores for each respondent were calculated by averaging item scores of the three or four items with the highest loading on a specific factor. Scores of items with negative loading are reversed. Finally, factor scores were averaged across all respondents to calculate total mean scores.

## 7.3 Results

### 7.3.1 Factor structure

Exploratory factor analysis yielded seven factors. Three of these factors describe drivers for the adoption of cargo cycles, while four factors represent barriers for the adoption of cargo cycles. Item loadings on these factors are listed in Tab. 18.

*Tab. 18 Results of the exploratory factor analysis displayed in the rotated component matrix. Given are item loadings on the seven factors, as well as communality ( $h^2$ ) for each item and total explained variance in % for each factor.*

Code <sup>12</sup>	Item	F1 Vehicle limitations	F2 Soft benefits	F3 Worries & perils	F4 Cost benefits	F5 Urban advantages	F6 Riders' concerns	F7 Infrastructure constraints	$h^2$
-F1a	Spatial coverage	<b>.641</b>	-.108	.033	-.084	.057	.078	-.063	.44
-F1b	Loading capacity	<b>.593</b>	-.267	.122	.025	.014	-.215	.218	.53
-F1c	Weather	<b>.524</b>	-.084	.229	.165	-.210	.241	.042	.47
+F1d	Electric range	<b>-.497</b>	-.213	.180	.378	.106	-.041	-.125	.50
+F2a	Health	-.041	<b>.673</b>	.088	.127	.024	-.119	-.051	.50
+F2b	Image	.004	<b>.615</b>	-.133	-.028	.324	.189	.060	.54
+F2c	Travel time reliability	-.238	<b>.547</b>	.121	.225	.135	-.089	.024	.45
-F3a	Theft	-.141	.057	<b>.646</b>	-.044	-.067	.172	.144	.50
-F3b	Organizational effort	.228	.016	<b>.590</b>	-.067	.148	.297	-.234	.57
-F3c	Implementation cost	.153	.071	<b>.583</b>	-.112	.129	-.329	.105	.52
-F3d	Payload damage	.085	-.062	<b>.466</b>	.163	-.378	.116	.289	.49
+F4a	Purchase cost	-.257	.017	-.074	<b>.752</b>	.045	.065	.089	.65
+F4b	Maintenance cost	.130	.220	-.103	<b>.604</b>	.091	-.032	-.215	.50
+F4c	Flexible parking	.028	.174	.013	<b>.486</b>	.263	-.058	-.010	.34
+F5a	Accessibility	.033	.060	-.002	.156	<b>.697</b>	.028	-.020	.52
+F5b	Environmental goals	-.065	.218	.011	.149	<b>.524</b>	.030	.244	.41
+F5c	Travel time	-.405	.075	.208	.218	<b>.463</b>	-.168	.004	.50
-F6a	Employee acceptance	.321	-.023	.026	.068	-.044	<b>.653</b>	.084	.54
-F6b	Handling experience	-.245	-.032	.261	-.072	.050	<b>.607</b>	.028	.51
+F6c	Fun	-.270	.443	.077	.117	-.010	<b>-.462</b>	-.065	.51
-F7a	Cycle infrastructure	.020	.030	-.042	-.076	.083	-.025	<b>.719</b>	.53
-F7b	Safety	.159	.183	.246	-.042	-.276	.292	<b>.527</b>	.56
-F7c	Service network	.050	-.297	.210	-.020	.195	.049	<b>.484</b>	.41
	Explained Variance (%)	13.9	9.1	6.2	5.8	5.3	5.0	4.6	

<sup>12</sup> Die Spalte "Code" ist nicht in der veröffentlichten Version des Artikels vorhanden.

Lesehilfe: -F1a kennzeichnet ein Item, das empirisch als Hemmnis (-) abgefragt wurde. Es ist der Hauptkomponente F1 („F1“) zugordnet und ist in dieser Hauptkomponente das Item mit der höchsten Faktorladung („a“).

Diese Nomenklatur wird auch in der Diskussion zum Forschungsbeitrag B (Kap.9.2.2) verwendet.

### 7.3.2 Factor scores

Fig. 19 shows the unweighted factor scores, averaged across the complete sample. These factor scores quantify how strongly respondents agree with the suggested drivers and barriers.

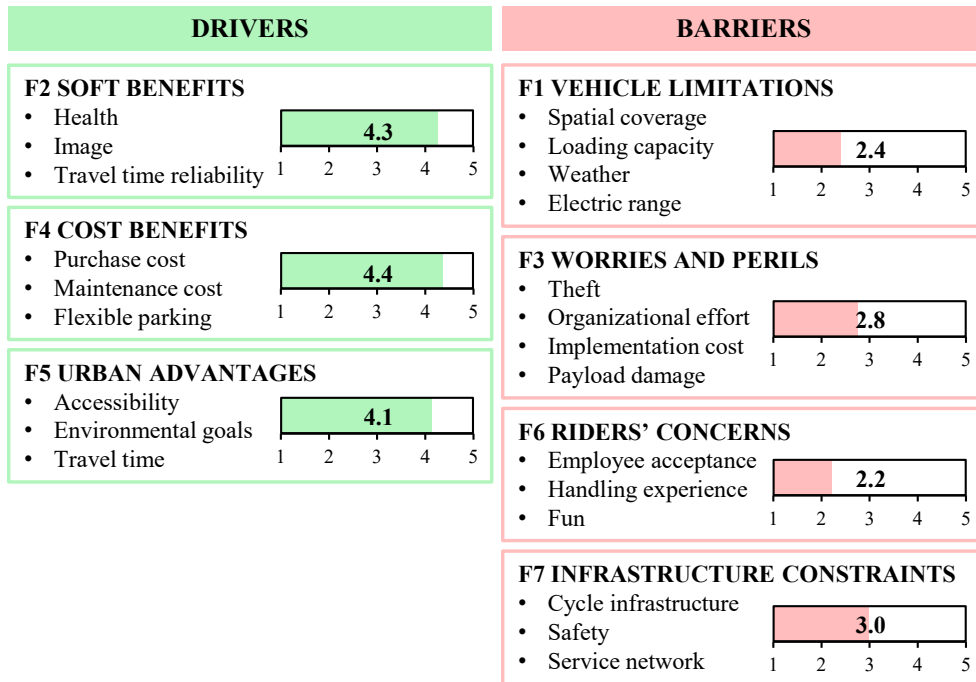


Fig. 19 Allocation of the surveyed 23 items to the seven factors F1 to F7; unweighted factor scores showing respondents' mean agreement<sup>13</sup>

## 7.4 Interpretation

### 7.4.1 Factor structure

In this section, the seven factors will be interpreted in order of their explained variance. To facilitate readability, the item names are printed in *italics* (for example *electric range*) and numeric item loadings are not stated in the following descriptions. Please refer to Tab. 18 for the exact item loadings.

**F1. Vehicle limitations.** The first factor represents common critical perceptions about cargo cycles' limitations. Most importantly, these limitations concern range, both in terms of *spatial coverage* and in terms of *electric range*, *payload capacity* and *weather* dependency. Another item with a lower though still substantial loading on this factor is *travel time*, implying that this factor is associated with considering cars to be faster than cargo cycles.

**F2. Soft benefits.** The second factor describes benefits that are of secondary importance. More specifically, this factor includes high item loadings for soft aspects such as *health* and *image* benefits of cargo cycles. To a lesser extent, *reliable travel times* are also included in this factor. *Fun* is the

<sup>13</sup> Eine deutsche Version dieser Abbildung findet sich im Synthesekapitel 9.2.3, siehe Fig. 27.

secondary item with the highest loading on this factor, equally describing a soft aspect related to cargo cycles.

*F3. Worries and perils.* The third factor describes worries about risks associated with cargo bikes. It shows high item loadings for hazards such as *theft* and *payload damage*, and worries about *implementation cost* and *implementation effort*. Not surprisingly, of all secondary items on this factor, *safety* reaches the highest loading.

*F4. Cost benefits.* The fourth factor includes high item loadings for the costs associated with cargo cycles. More precisely, items covering lower *purchase cost* and *maintenance costs* as compared to motor vehicles display high loadings on this factor, as well as the advantages of free and *flexible parking*. Another item with a lower loading on this factor includes *electric range*, which is a critical parameter and imperative to be considered when assessing the economic benefits of shifting to cargo cycles.

*F5. Urban advantages.* The fifth factor combines items that represent advantages of cargo cycles that are particularly relevant in urban environments, such as *accessibility* of access-restricted areas (e. g., pedestrian zones), reaching *environmental goals* (such as lower emissions) and *travel time* advantages as compared to cars.

*F6. Riders' concerns.* The sixth factor involves concerns about cargo cycle rejection by riders. Items with high loadings on this factor include low *employee acceptance* of cargo cycles, concerns about the high level of *handling experience* required for navigating cargo cycles and whether the riders think it is *fun* to use the cargo cycle.

*F7. Infrastructure constraints.* The seventh factor represents infrastructural limitations to the use of cargo cycles. Most importantly, the lack of adequate *cycle infrastructure* has by far the highest loading on this factor, followed with some distance by *safety* risks in street traffic and the lack of a professional *service network* for cargo cycles. *Payload damage* has the highest secondary loading on this factor, suggesting that jolting due to bad infrastructure such as uneven surfaces might result in damaging the payload.

#### 7.4.2 Factor scores

Fig. 19 shows the unweighted factor scores, averaged across the complete sample. These factor scores quantify how as shown in Fig. 19, the three identified drivers receive higher agreement ratings than barriers. This preference might be explained by the fact that our sample consists of organizations which are interested in testing cargo cycles and therefore likely have a positive general attitude towards cargo cycles.

With regards to the drivers, there are only minor differences between the three factors. The factor with the strongest agreement rating is *cost benefits* (F4). This result indicates that among organizations interested in testing cargo cycles, the financial advantages related to cargo cycles are considered as particularly pertinent. However, as *soft benefits* (F2) follows closely, it is evident that not only economic considerations spark interest in cargo cycles, but also secondary benefits are commonly associated with this type of vehicle.

The factor with the lowest agreement ratings among the drivers is *urban advantages* (F5). Two explanations are conceivable for this result. First, not all respondents are planning to use the cargo cycle within dense city centers, so it seems logical that the advantages summarized in this factor are of lower relevance to them. Second, it is possible that even for respondents wishing to use the cargo cycle in city centers, the advantages summarized by this factor are of lower relevance as compared to the other two driving factors.

With regards to the factors describing barriers for the use of cargo cycles, there is a substantial advance of *infrastructure constraints* (F7). This seems highly plausible as to date, very little bicycle infrastructure in German cities is suitable with regards to surface quality and width for cargo cycles. This lack of infrastructure is likely also related to safety issues in motorized street traffic for cargo cycles. Additionally, as cargo cycles are not yet widespread, only few service providers offer maintenance services. Taken together, the comparatively high agreement ratings for this factor suggest barriers for the adoption of cargo cycles with regards to infrastructure.

*Worries & perils* (F3) reach the second highest agreement ratings among the barrier factors. It is worth noting that most of respondents have little experience with cargo cycles. Hence it is conceivable that worries about the implementation of cargo cycles into organizational routines are of particular pertinence. Moreover, worries about theft and damage are possibly particularly relevant prior to their own testing experience, as worries tend to be of greater importance prior to confronting them with real life experiences.

Ranging third among the barriers, *vehicle limitations* (F1) seem of minor relevance to the respondents. This is possibly due to the fact that the sample consists of interested users who already consider cargo cycles as suitable transportation options for their organizations, likely after assessing the given limitations when switching operations to a smaller vehicle.

Finally, *riders' concerns* (F6) reach the lowest score of 2.0 which is equivalent to the reply option "I rather don't agree". This finding might be interpreted as that respondents generally represent a sample of interested cargo cycles users who are expecting that riding the cargo cycle tends to be a rather fun activity. In addition, respondents represent largely fleet decision-makers and represent rather small companies, which seem to be less concerned about employee acceptance.

As the present sample consists of companies that are interested in testing cargo cycles, the sample can be characterized as representing the potential new generation of cargo cycles users. Therefore, the factor scores reported in this paper could be relevant to policy makers wishing to increase cargo cycle usage. Considering that the driving factors are rated quite closely together on a generally high level, it may be inferred that the potential next generation of cargo cycle users are already convinced about the benefits of using cargo cycles. This implies that political incentives promoting these driving factors might not be necessary. In contrast, the diverging factor scores among the barriers might indicate that infrastructure constraints are perceived as a major obstacle to date for the adoption of cargo cycles. Hence, our results might be interpreted as signaling the necessity to improve cargo cycle related infrastructure as a priority.

## **7.5 Conclusion**

The present paper described an exploratory factor analysis of 23 literature-derived drivers and barriers for the adoption of cargo cycles. The analysis yielded seven factors (three drivers and four barriers). This factor structure reduces the complexity of a large variety of items influencing the adoption of cargo cycles. This classification can serve as theoretical framework for further research about the adoption of cargo cycles. One potential application of our results is to identify how different types of cargo cycle users can be differentiated with regards to their ratings in these seven factors.

In addition, we calculated overall agreement scores for the respective factors. The results indicate higher agreement ratings for drivers than for barriers. The barrier with the highest agreement rating is infrastructure, suggesting that policy-makers could address these concerns in order to promote cargo cycle use.

## 8 Fachartikel C: Travel Time Differences between Cargo Cycles and Cars in Commercial Transport Operations<sup>14</sup>

Johannes Gruber, Santhanakrishnan Narayanan

Gruber, J. & Narayanan, S. (2019): Travel Time Differences between Cargo Cycles and Cars in Commercial Transport Operations. In: *Transportation Research Record: Journal of the Transportation Research Board*, 2673, 623-637. <https://doi.org/10.1177/0361198119843088>

### Abstract

Cargo cycles are gaining more interest among commercial users from different business sectors, and they compete with cars in urban commercial transport. Though many studies show the potential of cargo cycles, there is still a reluctance to deploy them. One possible reason for this is the lack of knowledge regarding their suitability in relation to travel time. Therefore, this study aims to explore cargo cycles' travel time performance by quantifying the travel time differences between them and conventional vehicles for commercial trips. The authors compare real-life trip data from cargo cycles with Google's routed data for cars. By doing this, the authors explore the factors affecting the travel time difference and propose a model to estimate this difference. The attributes for the model were selected keeping in mind the ease of obtaining values for the variables. Results indicate cycling trip distance to be the most significant variable. The study shows that expected travel time difference for trips with distances between 0 and 20 km (12.4 mi) ranges from -5 min (cargo cycle 5 min faster) to 40 min with a median of 6 min. This value can decrease if users take the optimal cycling route and the traffic conditions are worse for cars. Although what is an acceptable amount of travel time difference depends on the user, practitioners can be certain of the travel time difference they can expect, which enables them to assess the suitability of cargo cycles for their commercial operations.

*Keywords:* Cargo cycles, commercial transport, travel times, sustainable urban freight

### 8.1 Introduction

Approximately every third journey undertaken in Germany falls into the category of commercial transport, that is, freight deliveries or service trips (Menge & Horn 2014), with the proportion being even higher in the dense city cores. According to forecasts, freight traffic on German roads will continue to rise in the coming years: in 2030, Germany will experience 39% more volume (in tonmiles) compared with 2010 (BMVI 2014). There is a clear political and societal will to develop countermeasures to cope with the negative externalities that coincide with increasing commercial transport operations, such as air and noise pollution, greenhouse gases, congestion, safety hazards, and less urban liveliness. More than 500 European municipalities have imposed vehicle access restrictions (Kassida 2016). The first cities have imposed driving bans for diesel-driven vehicles, with Stuttgart (where Daimler and Porsche have their headquarters) being a prominent example (Bennhold 2018). In May 2018, the European Commission sued Germany, the U.K., France, Italy, Romania, and Hungary,

---

<sup>14</sup> Dieser Fachartikel erhielt im Januar 2019 die Auszeichnung „Best Research Paper“, vergeben durch das Urban Freight Transportation Committee (AT025) des US-amerikanischen Transportation Research Board (TRB).

stating that these countries had failed to meet NO<sub>x</sub> and PM limits (European Commission 2018). Furthermore, the European Commission set the goal to “achieve essentially CO<sub>2</sub>-free city logistics in major urban centers by 2030” (European Commission 2011).

To minimize the environmental burden of commercial trips, using cleaner and smaller vehicles such as electric cargo cycles for freight operations and service trips is seen as one promising solution (Schliwa et al. 2015). A substantial substitution potential for cargo cycles was found for Germany: 8 – 23% of commercial trips and 1 – 4% of the corresponding mileage could technically be shifted to cargo cycles (Gruber et al. 2016). Successful commercial use cases for cargo cycles have been found throughout Europe (Schliwa et al. 2015, Lenz & Riehle 2013).

There are diverging results when it comes to assessing operative feasibility. Some authors use (micro) simulation approaches for concept assessments. For Porto (Portugal), a replacement potential of 10% of conventional vans for distances up to 2 km (1.2 mi) was found to be economically viable (Melo & Baptista 2017). For Berlin (Germany), results show a potential 22% reduction in emissions, and cost savings of 28% for parcel providers, if the use of cargo cycles is implemented (Zhang et al. 2018). On the other hand, a similar approach for Seattle, WA, finds that cargo cycles are hardly a cost-efficient solution for last-mile logistics (Butrina et al. 2018). Data from Austin, TX, was used to compare the costs of cargo cycles with the trucks used by the United States (U.S.) Postal Services, and this showed the cost competitiveness for e-trikes, especially in central business districts and during congested traffic conditions (Choubassi et al. 2016).

While diversification and performance increases in available cargo cycle models have been noticeable in recent years, many businesses are still reluctant to implement the use of this type of vehicle. Fleet decision-makers and the customers of logistics operators show reservations about using cargo cycles (Melo & Baptista 2017), while the prevalent conditions and cultures of many small-sized cycle freight companies prevent a professionalization of the sector, as has been found in the U.K. (Schliwa et al. 2015).

Many consider the load-carrying capacity of cargo cycles to be a deterrent to their application. Though it is unrealistic to consider cargo cycles replacing all forms of motorized commercial transport in urban areas, findings show that a substantial amount of commercial trips being carried out by motorized vehicles can be taken over by cargo cycles in relation to load capacity, as has been shown for point-to-point shipments (Gruber et al. 2014).

Another major factor affecting the successful application of cargo cycles is their travel time performance in comparison with cars. As was hinted in the literature (Melo & Baptista 2017, Choubassi et al. 2016), the travel times of cargo cycles might be one of the operative limits as they are said to only be suitable for short travel distances. Time is arguably the most precious asset within commercial transport operations; hence, this paper focuses on this important issue: the (potential) increase in travel time when switching to a smaller and cleaner vehicle. By looking at cargo cycles' travel time differences compared with cars, the intention of this paper is to contribute to the assessment of the cargo cycles' substitution potential within commercial transport operations.



The two main research questions addressed are:

1. What are the differences in travel times between cargo cycles and cars when used for commercial transport operations?
2. Which factors, including but not limited to trip distance, payload utilization, time of day, and vehicle type, affect these travel time differences?

The rest of this paper is organized as follows: after a summary of the existing literature, the research setting and methods will be described, followed by descriptive statistics of the cargo cycle trips sample and the model results. Subsequently, an application of the model and a scenario analysis will be presented. After discussing the findings, this paper ends with a conclusion.

## **8.2 State of the Art**

This section consists of literature findings concerning speed and travel time differences between bicycles or cargo cycles and cars as well as macroscopic factors affecting bicycle and car speed. Generally, the literature concerning cargo cycles and relating to the current research focus is limited; hence, literature findings from both commercial and passenger transport were considered.

One contribution presents an in-depth analysis of two cycle freight operators in New York City using human-powered vehicles (Conway et al. 2017). It was shown that cargo cycles can be competitive in relation to speed compared with conventional vehicles in congested situations. Results from Porto (Melo & Baptista 2017) indicate that the implementation of cargo cycles can lead to better traffic performance (with lesser delay times being one indicator), yet only up to a replacement rate of 10% of conventional vehicles.

Concerning passenger transport, speed ranges of electric bicycles and cars show some overlap, as shown for Europe (BMVIT 2016) and the U.S. (Tranter 2012), which can be seen as an indicator of the potential for competition between these modes, even in commercial transport operations. One analysis compares hailing a taxi to taking a rental bike in New York City for trip distances of up to 6 km (3.7 mi) (Faghih-Imani et al. 2017). While this study doesn't address freight movement, some findings might be comparable. The results show that, on average, taxi trips were slightly faster than bicycle trips. However, some influencing factors can cause substantial deviations in the travel time differences between bicycle and taxi. In the following, spheres of influence are grouped into spatial context, time, vehicle, and trip conditions.

Concerning spatial context, it was found for New York City that greater trip distance was a factor favoring trucks over cargo cycles without electric assist, as well as taxi travel times compared with bicycles for private mobility, that is, higher travel time difference can be expected between cycles and cars as the trip distance increases (Conway et al. 2017, Faghih-Imani et al. 2017). Comparing trip distances between identical origin-destination relations for bicycles and cars, bicycles have the option of taking shortcuts, for example through parks or along one-way streets that are bidirectional for bicycles, which renders travel time savings (Tranter 2012). Hence, cycles can achieve reduced travel time compared with cars. Different elevation levels of origin and destination have an effect on bicycle speed, the speed declining with increasing road grade because of grade resistance (Tengattini & Bigazzi 2017). On a disaggregate level, a positive influence on cycling speed was found within

Montreal's road network because of the availability of good/dedicated bicycle infrastructure (Strauss & Miranda-Moreno 2017).

Furthermore, temporal aspects play a role: bicycles have an advantage in relation to speed during times of greater congestion such as morning rush hour periods, as was found for freight (Conway et al. 2017) and passenger transport (Strauss & Miranda-Moreno 2017). On the other hand, empty network conditions that would more likely happen on weekends or during the night would favor increased car speeds (Laflamme & Ossenbruggen 2017).

When it comes to type of vehicle, the presence and type of electric assist plays a role. The speed gains of electrically assisted bicycles (predominantly used for private mobility) in Germany are 2 – 9 km/h (1.2 – 5.6 mph), because of the lower level of effort required to achieve a higher speed (Schleinitz et al. 2017). When it comes to cargo cycles, two-wheelers are generally seen as faster than three-wheelers because of the extra effort required to ride three-wheelers. This effect is strengthened by the fact that the usual payloads are higher for three-wheelers (Tab. 19).

Finally, specific trip conditions could change travel speeds. Several studies look at the influences of weather variables on cycling behavior such as modal share, frequencies, and use duration per day (Böcker & Thorsson 2014). However, results concerning influences on cycling speed and travel time have not been found. For combustion engine vehicles, analyses found significant speed reductions caused by precipitation and inclement weather (Akin et al. 2011).

Literature findings concerning speed and travel time differences between bicycles and cars show that cycles are promising in relation to speed and travel time. However, it should be noted that an analysis consisting of users from different sectors of commercial transport is still missing and the current study has been designed to fill this gap. Though an in-depth analysis on cargo cycle speed is conducted in (Conway et al. 2017), it should be noted that the findings were generated based solely on freight operators in Manhattan and one distinct cargo cycle model. Given the diverse needs of different organizations, results based on downtown delivery operators and a single cycle model might not be sufficient, and large-scale research comprising different types of cargo cycles and a wide variety of users and contexts is warranted.

Major factors that should be explored during this research include trip distance, shortcuts available for cycles, road grade, network load (peak and off-peak hours), cargo cycle type (number of wheels and presence of electric assist), and weather conditions (temperature and precipitation). Although, to the best of the authors' knowledge, there is no existing literature on this, the authors would like to explore the effect of payload utilization and car ownership per capita in the cities where the trips were carried out. It would be assumed that increased payload utilization would result in decreased cycle speed. The authors believe that this decrease might not be substantial until a certain threshold (e.g. 3/4 of maximum) of payload utilization has been reached and would like to analyze this in this research. Regarding car ownership per capita, it can be assumed that higher car densities would increase the probability of congestion and hence lead to an increase in travel time for cars.

### **8.3 Research Setting**

#### **8.3.1 Project Background: “Ich entlaste Städte” – The German Cargo Cycle Testing Scheme for Commercial and Public Users**

Despite their great potential, to date cargo cycles have rarely been used in commercial operations. The project “Ich entlaste Städte” (“Taking the load off cities”), managed by the Institute of Transport Research within the German Aerospace Center (DLR), aims to decrease barriers built on uncertainty or a lack of knowledge about the operative feasibility of cargo cycles. Therefore, private companies and public organizations across Germany are being given the opportunity to test a cargo cycle for three months at a very low cost (roughly US\$ 30 monthly). The project is specifically targeted at companies without cargo cycle experience, irrespective of business sector, size, or location. Participating organizations can choose between 18 different cargo cycle models, of several construction types, to cope with heterogeneous demand and use patterns.

#### **8.3.2 Data Collection**

##### *8.3.2.1 Cycle Trip Details*

During cargo cycle testing, the participating organizations are required to use a smartphone app which was developed for the purpose of obtaining data. Users manually start and stop GPS track recording and answer trip-related questions, such as trip purpose, payload capacity utilization, or substituted type of vehicle. Trips with inconsistencies (e.g. “jumps” because of insufficient GPS coverage) and round trips were removed. The sample contains 1,421 cargo cycle trips.

##### *8.3.2.2 Car Trip Details*

Equivalent data for the mode “car” was obtained from Google Maps using the latitude and longitude values for the origins and destinations of the cargo cycle trips, day, and starting time (Melo & Zarruk 2016). The potential of Google Maps’ API for travel time estimation has been shown in Wang & Xu (2011) and Dumbliauskas et al. (2017). Two estimates of travel times were obtained, namely “best guess” and “pessimistic”. Best guess is the best estimate (most likely value) for travel time and pessimistic value is a value longer than the actual travel time on most days (a value representing the upper end of the travel time distribution, representative of the congested scenario for cars). While “best guess” values were used for model estimation, pessimistic travel times were used for scenario analysis to evaluate the effect of congestion.

##### *8.3.2.3 Other Variables and Data*

Further data was collected concerning city size (BBSR 2015), car ownership (Kraftfahrt-Bundesamt 2018), altitude of the trip origins and destinations (Cooley 2017), air temperature and precipitation for all involved locations on an hourly basis (DWD n.d.), and perceived bicycle infrastructure quality (ADFC 2016).

Furthermore, data from the most recent national travel survey focusing on commercial transport (KiD 2010) was used (BMVBS 2012) to create a subsample of trips that are feasible for cargo cycles. Filter criteria: vehicle type: motorcycles, cars, or light commercial vehicles with up to 3.5 metric tons

(3.2 T) of payload, trip length  $\leq 20$  km (12.4 mi), trip payload  $\leq 50$  kg (110.2 lb.), trip purpose: commercial transport or service trips. Within these criteria, a total of 2.37 billion commercial trips are carried out each year in Germany.

## **8.4 Sample Descriptive Statistics**

### **8.4.1 Geographic Background**

This analysis sample contains 1,421 cargo cycle trips. These trips were carried out by 84 users located in 44 German municipalities in 14 out of the 16 German states. Naturally, large cities proved to be a favorable setting for alternative vehicle concepts, with 11 users from Berlin and seven users in Munich. While three out of four participating organizations are located in cities with 100,000 or more inhabitants, medium-sized cities and rural areas were also involved.

### **8.4.2 Organizational Background**

Almost half of the users are self-employed or work as freelancers, underlining that low-cost cargo cycle testing is highly attractive for this professional group. Participation in the project is not limited to companies; consequently, approximately every fourth user was a public institution, an association, or another type of organization. The sample contains a very diverse collection of business areas, including: cafe, carpenter, chimney sweep, construction firm, copy shop, courier logistics, facility management, flower delivery, gardener, movie production, municipal agency, pharmacy delivery, and photographer. Concerning turnover, 88% of the organizations are considered micro enterprises (turnover  $< \text{€ } 2$  million), while the remainder is quite evenly distributed among small ( $\text{€ } 2 - 10$  million), medium-sized ( $\text{€ } 10 - 50$  million), and large enterprises ( $> \text{€ } 50$  million). More than four out of five organizations hadn't had any cargo cycle experience prior to the test.

### **8.4.3 User Characteristics**

It was not possible to collect socio-economic data for all the users because of data privacy concerns. Only 38 users registered their socio-economic data (less than half the number of users in the sample). Exploring the data of the 38 users shows that their ages range from 26 to 61. Among the 38 users, 34 are male and four are female. Nine users earned a net income of below  $\text{€ } 1,750$ , 10 above  $\text{€ } 3,000$  and the rest in between. Only two of the 38 users had experience with cargo cycles before this project.

In summary, looking at geographic background, organizational background, and characteristics of the users, it is certain that the sample includes a broad variety of users.

### **8.4.4 Vehicle Characteristics**

Participating organizations were offered a selection of 18 different vehicles, which can be grouped into five construction types (Tab. 19). Parts of the fleet are two-wheelers and targeted towards more time-critical operations, while tricycles have higher payload capacity and therefore rather lower speed profiles. Most of the models had electric assist up to 25 km/h (15.5 mph), known as "Pedelec-25," as these vehicles are classified as non-motorized bicycles by EU law. Two models had no electric assist, and one model had electric assist up to 45 km/h (28.0 mph), known as "Pedelec-45". All models were able to carry a minimum payload of 50 kg (110.2 lb.).

### 8.4.5 Trip Characteristics

Fig. 20 shows the sample's trip distance distribution compared with the KiD 2010 survey, which is representative for commercial transport in Germany (see 'Data Collection'). While for trip distances between 9 and 20 km (5.6-12.4 mi), the sample contains substantially smaller shares of the total amount of trips, it is still the case that, both in the sample and in KiD 2010, the vast majority of commercial trips are below 10 km (6.2 mi): 89% of the sample trips and 76% of the KiD 2010 trips, respectively.

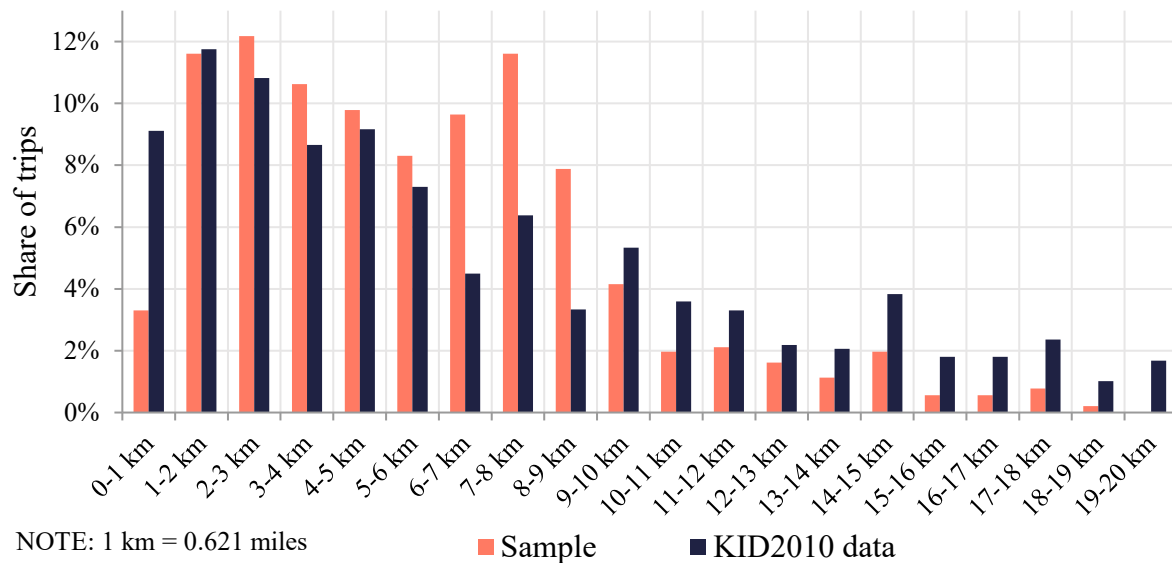







Fig. 20 Distribution of trip distances in sample ( $n=1,421$ ) and KiD 2010 ( $n=2.37$  billion).

Tab. 19 presents in-depth descriptive statistics of the analyzed sample. From the table, it can be ascertained that the dataset consists of a good representation of trips throughout the day (intra-day variation) and also for each day of the week (inter-day variation).

Tab. 19 Fleet and Trip Characteristics

Cargo Cycle Fleet Used							
No. of wheels	Construction type	Side view of typical model (Photos: DLR)	No. of models	Models with electric assist	No. of vehicles	Mean cargo box volume (L)	Share of trips (n=1,421)
2	Pizza delivery bike		1	1x without	8	131	6.1%
	Long John bike		9	1x without 7x Pedelec-25 1x Pedelec-45	56	187	67.8%
	Longtail bike		2	1x without 1x Pedelec-25	4	no cargo box	11.7%
3	Tricycle, front load		5	5x Pedelec-25	15	304	13.7%
	Heavy-load tricycle		1	1x Pedelec-25	1	1300	0.8%

<b>Trip Characteristics (n=1,421)</b>					
Cycle trip distance (km)	Min	0.3	Car trip distance (km)	Min	0.3
	Mean	5.8		Mean	5.9
	Median	5.3		Median	5
	Max	18.6		Max	21.5
Cycle trip travel time (min)	Min	1.3	Car trip travel time (min)	Min	1.2
	Mean	21.5		Mean	12.8
	Median	19.7		Median	12.2
	Max	69.9		Max	39.4
Cycle trip speed (km/h)	Min	7.9	Car trip speed (km/h)	Min	10.6
	Mean	15.9		Mean	26.9
	Median	15.7		Median	24.7
	Max	32.7		Max	67.1
Elevation difference between destination and origin (m)	Min	-132.8	Precipitation (mm/hour)	Min	0
	Mean	1.1		Mean	0.1
	Median	0.2		Median	0
	Max	137.8		Max	5.2
Temperature (°C)	Min	-9.5	Inter-day variation (share of trips)	Mon	15.1%
	Mean	9.5		Tue	17.7%
	Median	8.8		Wed	20.6%
	Max	27.4		Thu	16.9%
Intra-day variation (share of trips)	12-6 a.m.	1.2%	Utilization of available loading capacity (share of trips)	Fri	16.6%
	6-7 a.m.	1.0%		Sat	8.3%
	7-8 a.m.	5.5%		Sun	4.8%
	8-9 a.m.	6.0%		Almost empty	21.2%
	9-10 a.m.	6.6%		One quarter	30.1%
	10-11 a.m.	7.7%		Half	19.5%
	11 a.m.-12 p.m.	7.4%		Three quarter	10.2%
	12-1 p.m.	6.2%	Trip purpose return trip (share of trips)	Full	18.2%
	1-2 p.m.	6.2%		Overloaded	0.7%
	2-3 p.m.	6.9%		Yes	29.5%
	3-4 p.m.	6.1%		Yes	14.4%
	4-5 p.m.	5.6%	Three-wheeled cargo cycle (share of trips)	Yes	81.3%
	5-6 p.m.	7.5%			
	6-7 p.m.	8.8%			
	7-8 p.m.	6.9%			
	8-9 p.m.	3.8%			
	9-10 p.m.	2.8%			
	10-11 p.m.	2.5%			
	11 p.m.-12 a.m.	1.3%			
NOTE: 1 L = 0.0353 ft <sup>3</sup> ; 1 km = 0.621 miles; 1 m = 1.094 yd; Fahrenheit temperature F = 1.8*C + 32					

As can be seen in Fig. 21, the travel times by cargo cycles and cars overlap, especially for lower distance trips. As trip distances increase, cars become more advantageous in relation to speed. However it should be noted that, even for longer trips, there are some cases where cargo cycles are faster.

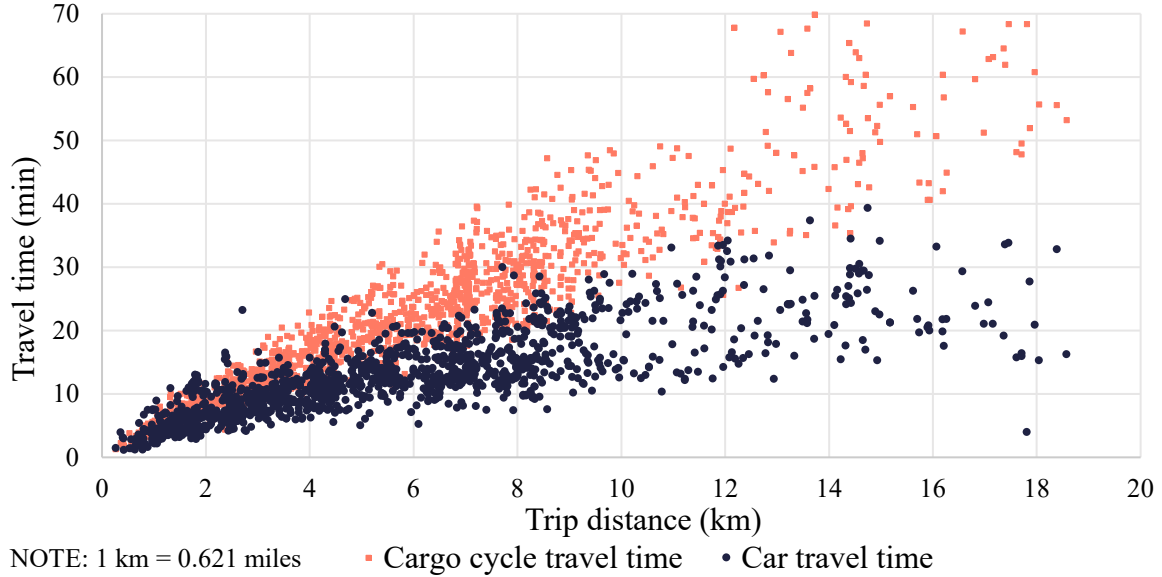


Fig. 21 Travel times of cargo cycles and cars versus trip distance.

## 8.5 Model Estimation

As mentioned earlier, the travel time for the mode “cargo cycle” was taken from the trip details recorded through the official smartphone app while, for the mode “car”, the data was obtained from Google Maps. A regression model will be estimated since the factors are easily interpretable and the model is readily usable. The difference between the travel times of the modes “cargo cycle” and “car” (in min) was considered as the dependent variable for the model.

Regression models based on an ordinary least squares (OLS) approach were tried out initially. Attributes for the model were selected based on the literature. The decision to keep an independent variable was based on the p-value (significance level 0.10) of the corresponding variable and the adjusted  $R^2$  value of the model obtained upon adding the new variable.

Since the route options available to the mode “car” could increase for longer trips and hence there could be a wider distribution of travel time difference, it was expected that the variance of the residuals would increase as the trip length increases, that is, the residuals were expected to be heteroskedastic. To account for the heteroskedasticity, it was decided to apply weights to the residual variance based on the trip length ( $v$ ; variance covariate), as shown in Equation 1 (Pinheiro & Bates 2000). To implement this, a generalized least squares approach (GLS) was implemented with the same model specification as that of the final OLS model. GLS is efficient over OLS in the presence of heteroskedasticity (Greene 2012). ANOVA test was used to ascertain the significance of the GLS model.

$$Var(\epsilon) = \sigma^2 v \quad (1)$$

Given that there are multiple observations from individual users, observations would be correlated. The estimated standard errors are biased if this fact is ignored (Dupont & Martensen 2007, Moulton 1986), especially when the model does not contain user-specific attributes. Hence, a random intercept model was used to capture the influences of the user on the dependent variable. The suitability of a random intercept model for a dataset containing correlated observations is made obvious in (Dupont & Martensen 2007), research which shows the application of mixed models in the field of traffic safety. Following the estimation of a random intercept model, the intraclass correlation (ICC) was computed based on Equation 2 (Dupont & Martensen 2007, Moulton 1986) to substantiate the necessity for a random intercept model.

$$ICC = \frac{\text{Variance of the random effect of the intercept}}{\text{Total variance}} = \frac{(\sigma_u)^2}{(\sigma_u)^2 + (\sigma_e)^2} \quad (2)$$

Further, 5-fold cross-validation (James et al. 2013) was carried out to compare the predictive performance of the three model types: OLS, GLS, and the random intercept model. The validation process involves dividing the sample set into five groups of equal size. Estimation is done using four groups while the remaining set is used as a validation set. The estimation is repeated four more times, and each time a different group is considered as the validation set. The process results in five Mean Squared Error (MSE) values, with the final MSE being calculated by averaging the five values. MSE values for each model are computed and compared to assess the predictive performance of the models.

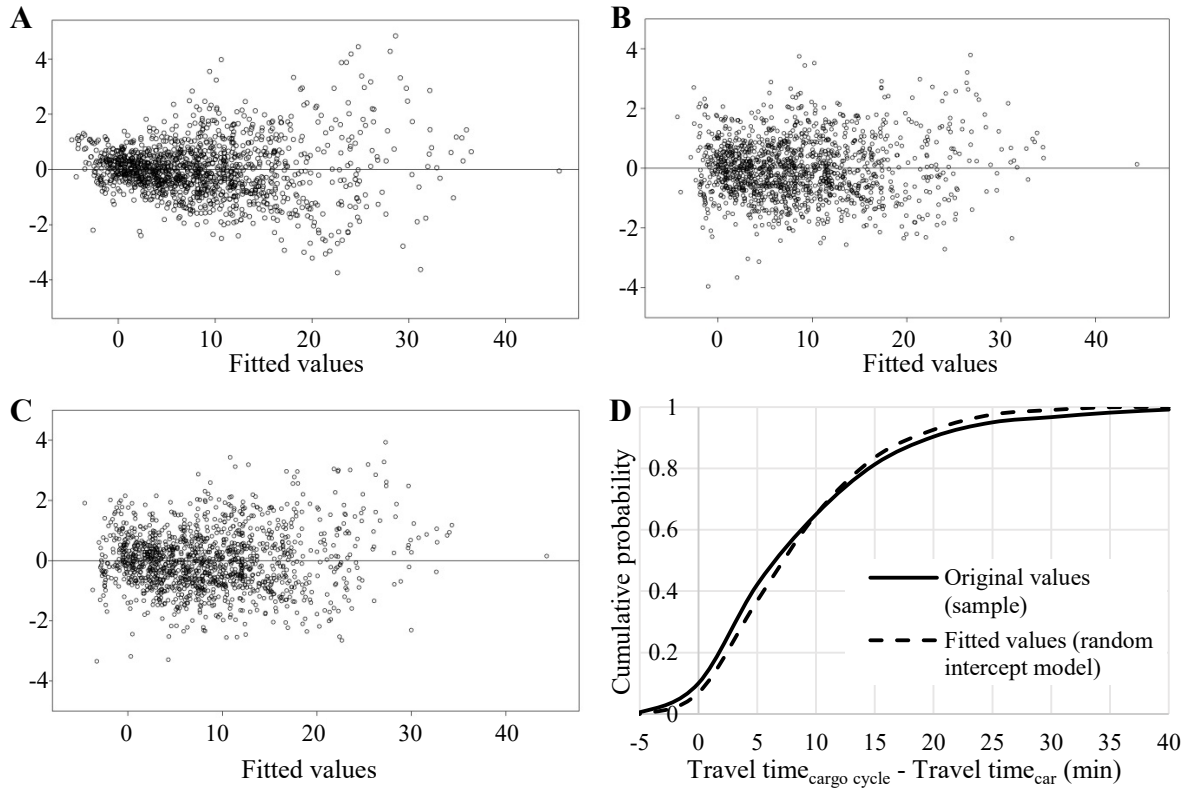
## 8.6 Model Results

The estimation results from the OLS models show that all the independent variables tested have the expected sign. The OLS model with the variable “cycleTripDistance” had an adjusted R<sup>2</sup> value of 0.648, proving that this variable is the most significant one. The second most significant variable was “distanceDifferenceCarAndCargoCycle,” which improved the adjusted R<sup>2</sup> value from 0.648 to 0.697. Followed by this, log(carOwnership) improved the adjusted R<sup>2</sup> value to 0.727. Adding the rest of the significant variables resulted in a minor improvement of the adjusted R<sup>2</sup> value, reaching 0.755 in the final OLS model.

As expected, the residuals from the OLS model were heteroskedastic (Fig. 22A). A visual inspection of the fitted vs residuals plot of the GLS model (Fig. 22B) showed that the heteroskedasticity issue has been nullified. The change in significance level of some of the variables in the GLS model reflects the correction applied to heteroskedasticity. In the initial estimation of the random intercept model, the variable “isTemperatureAbove5” was insignificant (t-value: -1.405 and p-value: 0.160), and hence this variable was removed. As mentioned in the methodology section, a model without random intercept could result in inflation or deflation of the t-values, and the significance of the temperature dummy variable in models without random intercept is an example of this. The intraclass correlation value obtained for the current dataset is 0.33, with a value of 0.20 and above being considered a large value (Kreft & de Leeuw 1998). Hence, it is certain that the clustering effect of the users cannot be disregarded, and a random intercept model must be used. Fig. 22C shows the fitted vs residuals plots of the random intercept model and Fig. 22D shows the cumulative distribution of travel time difference in the sample and the fitted values from the model.



Comparing the values of the goodness of fit indicators between the GLS model and the final random intercept model clearly showed that the random intercept model is statistically superior. Hence, this model will be used for further analysis. Variables that were insignificant in the OLS model remained insignificant in the random intercept model. The random effect, which represents the variation between the users, is normally distributed with a mean of 0. Though there is no substantial difference in the MSE value obtained for the three models through 5-fold cross-validation, the random intercept model performs slightly better than the other two.



*Fig. 22 Residual distribution from OLS (A), GLS (B), and random intercept Model (C), and Cumulative distribution of original and fitted values of dependent variable (D).*

In Tab. 20, below, the estimates are presented from the final OLS model, the GLS model, and the random intercept model along with the result of the cross-validation and goodness of fit indicators.

Tab. 20 Estimation Results

Coeff.	OLS Model			GLS Model			Random Intercept Model		
	Estimate	Std. err.	t. Statistic	Estimate	Std. err.	t. Statistic	Estimate	Std. err.	t. Statistic
$\beta_{CON}$	3.160	0.593	5.332 (***)	1.760	0.424	4.339 (***)	2.318	0.596	3.889 (***)
$\beta_{TD}$	1.846	0.033	55.699 (***)	1.747	0.030	57.129 (***)	1.696	0.032	53.279 (***)
$\beta_{ED-M}$	0.132	0.027	4.856 (***)	0.131	0.027	4.843 (***)	0.129	0.026	5.017 (***)
$\beta_{ED-E}$	0.025	0.005	4.845 (***)	0.022	0.005	4.763 (***)	0.020	0.004	4.513 (***)
$\beta_{DD}$	-1.657	0.104	-15.927 (***)	-1.784	0.103	-17.110 (***)	-1.665	0.109	-15.308 (***)
$\beta_{CO}$	-0.609	0.071	-8.575 (***)	-0.342	0.052	-7.956 (***)	-0.512	0.106	-4.848 (***)
$\beta_{6-10}$	-2.008	0.447	-4.492 (***)	-1.824	0.360	-4.637 (***)	-1.318	0.357	-3.692 (***)
$\beta_{10-19}$	-1.128	0.375	-3.007 (**)	-1.217	0.300	-3.987 (***)	-0.993	0.296	-3.352 (***)
$\beta_{3W}$	1.779	0.360	4.946 (***)	2.025	0.273	7.872 (***)	2.066	0.504	4.100 (***)
$\beta_{P45}$	-2.359	0.342	-6.889 (***)	-0.930	0.245	-3.800 (***)	-1.292	0.632	-2.044 (*)
$\beta_{T>5}$	-0.865	0.258	-3.358 (***)	-0.290	0.172	-1.686 (.)	-	-	-
$\sigma_{CON}$	-	-	-	-	-	-	1.126	-	-
5-fold Cross-validation	MSE: 20.441			MSE: 20.669			MSE: 20.114		
Goodness of fit indicators	Adj. R <sup>2</sup> : 0.755			AIC: 7711.662			AIC: 7617.105		
	AIC: 8196.194			BIC: 7774.746			BIC: 7680.189		
	BIC: 8259.278			Log likelihood: -3843.831			Log likelihood: -3796.553		
	Log likelihood: -4086.097								

NOTE: For coefficient names and description, please refer to Tab. 21.  
 Negative coefficients indicate travel time advantages for cargo cycles.  
 (.) -  $p < 0.10$  | (\*) -  $p < 0.05$  | (\*\*) -  $p < 0.01$  | (\*\*\*) -  $p < 0.001$

In the following, the magnitude of the variables is described. The estimates from the random intercept model show that with every km (0.6 mi) increase in cycling trip distance the time difference value can be expected to increase by 1.70 min. While one meter (1.1 yd) difference in elevation between the origin and destination can change the dependent variable value by 0.13 min when using a manual cycle, the effect is much less when using an electric cycle, ranging around 0.02 min per meter. A 1 km (0.6 mi) difference in trip distance between car and cargo cycle (trip distance of car being higher) can, on average, reduce the travel time difference by 1.66 min. This shows the advantage of the shortcuts available for cycles. When a trip is done during the morning peak hour, around 1.32 min can be saved if a cargo cycle is used instead of a car, and the saving in travel time during the afternoon and the evening peak is around one minute. Using a three-wheeler instead of a two-wheeler cycle can delay the trip by, on average, 2 min. Using a “Pedelec 45” electric cycle can reduce travel time by 1.29 min.

Besides giving more detailed information about names and types of variables, Tab. 21 below depicts the directions of effects along with the interpretation of the effect, both for significant and insignificant variables.

Tab. 21 Effects of the Independent Variables

Var. Group	Variable Name	Description	Coeff.	Coeff. Sign	Interpretation & Comparison with Literature
<i>Significant variables (in random intercept model)</i>					
	Intercept	Model constant	$\beta_{CON}$	+	The positive sign is interpreted as indicative of the superiority of the car in general.
Spatial context	cycleTrip Distance	Cargo cycle trip distance recorded by smartphone app (km)	$\beta_{TD}$	+	With increasing trip distance, it can be expected that cars will be advantageous. In line with (Gruber et al. 2014).
	elevation Difference ManualCycle	Elevation difference between destination and origin (m) – when cargo cycle without electric assist was used	$\beta_{ED-M}$	+	Increasing upward gradient results in increasing grade resistance, which in turn results in increasing travel time for cycles. In line with (Tengattini & Bigazzi 2017).
	elevation Difference ElectricCycle	Elevation difference between destination and origin (m) – when cargo cycle with electric assist was used	$\beta_{ED-E}$	+	Similar interpretation as for $\beta_{ED-M}$ .
	distance Difference CarAnd CargoCycle	Difference in trip distance between car and cargo cycle ( $Dist_{car} - Dist_{cargo\ cycle}$ ; km)	$\beta_{DD}$	–	With car trip distance higher than the cycle trip distance, travel time for car increases and hence the travel time difference decreases. This shows the effects of shortcuts. In line with (Tranter 2012).
	log(car Ownership)	Car ownership per 1,000 inhabitants in the city where the trip was done	$\beta_{CO}$	–	In cities with high car density, the probability of congestion is higher, hence travel time for car increases.
Time	is MorningTime	Dummy variable: trip started between 6 a.m. and 10 a.m.	$\beta_{6-10}$	–	During the morning peak, the travel time for car is generally higher, hence travel time difference decreases. Also, cyclists travel faster during this time compared with night and early morning (Strauss & Miranda-Moreno 2017).
	is DayTime	Dummy variable: trip started between 10 a.m. and 7 p.m.	$\beta_{10-19}$	–	Trips other than home-based work and school trips are usually done in the afternoon after the morning peak, and in the evening, all kinds of trips are seen. Hence, travel time for car is generally higher during this time because of congestion. Also, cyclists travel faster during this time compared with night and early morning (Strauss & Miranda-Moreno 2017).
Vehicle	is ThreeWheeler	Dummy variable: three-wheeled cargo cycle was used	$\beta_{3W}$	+	Three wheelers are slower because of higher payload capacity and the extra effort required to ride them compared with two wheelers (see Tab. 19).
	is Pedelec45	Dummy variable: trip was done using cargo cycle	$\beta_{P45}$	–	Higher speed achievable with less effort, hence reduction in travel time difference.

Var. Group	Variable Name	Description	Coeff.	Coeff. Sign	Interpretation & Comparison with Literature
		with ‘Pedelec-45’ electric assist (Tab. 19)			
<i>Insignificant variables (in random intercept model)</i>					
Spatial context	isCitySize Large / isCitySize Medium / isCitySize Small	Dummy variable: Population of the city/municipality where the trip was done		– + +	Because of higher possibility of congestion (as shown by (Chang et al. 2017) for US cities), cargo cycles are advantageous in larger cities.
	bikeInfra Quality Index	Perceived bicycle infrastructure quality index (ADFC 2016) of the city where the trip was done		–	Better cycling infrastructure supports higher cycling speed, hence reduction in travel time difference (Strauss & Miranda-Moreno 2017).
Time	isWeekEnd	Dummy variable: trip was done on Saturday or Sunday		+	Less congestion on main roads and therefore higher driving speed possible for cars.
Vehicle	isElectric	Dummy variable: trip was done using cargo cycle with ‘Pedelec-25’ or ‘Pedelec-45’ electric assist (Tab. 19)		–	Same interpretation as that of isPedelec45 applies here.
Trip condition	isFullyOrOver Loaded	Dummy variable: cargo cycle was fully or overloaded during trip (stated by rider within smartphone app)		+	Loading more than three quarters of the available loading capacity significantly reduces cycling speed, hence increasing the travel time difference.
	isReturnTrip	Dummy variable: trip purpose is return to point of origin (stated by rider within smartphone app)		+	Users tend to cycle slowly for return trips as there is no time pressure.
	is Temperature Above5	Dummy variable: temperature during the trip is above 5°C (41°F)	$\beta_{T>5}$	–	Air becomes denser at lower temperatures; hence air resistance and tire rolling resistance increases. Therefore, as temperature increases, cyclists can achieve faster speeds and hence a reduction in travel time difference.
	Temperature	Temperature during the trip (°C)		–	Same interpretation as for isTemperatureAbove5 applies here.
	Precipitation	Quantity of precipitation (mm/h) at departure time		–	Reduction in car driving speed because of rain (to avoid skidding and other similar problems), hence reduction in travel time difference.

## 8.7 Model Application

The results from the random intercept model were applied to an out-of-sample prediction of 9,821 car trips taken from the IeeA database (Gruber et al. 2014), a database of point-to-point shipments collected by DLR during the current project’s predecessor “Ich ersetze ein Auto” (“I substitute a car”). All 9,821 trips were made by car in March 2014 by 205 individual (self-employed) messengers in eight German cities. Actual car delivery origins, destinations, and time stamps of the trips from the IeeA database were used. A comparison of the distributions of trip distances from the main sample and the IeeA dataset is shown in Fig. 23.

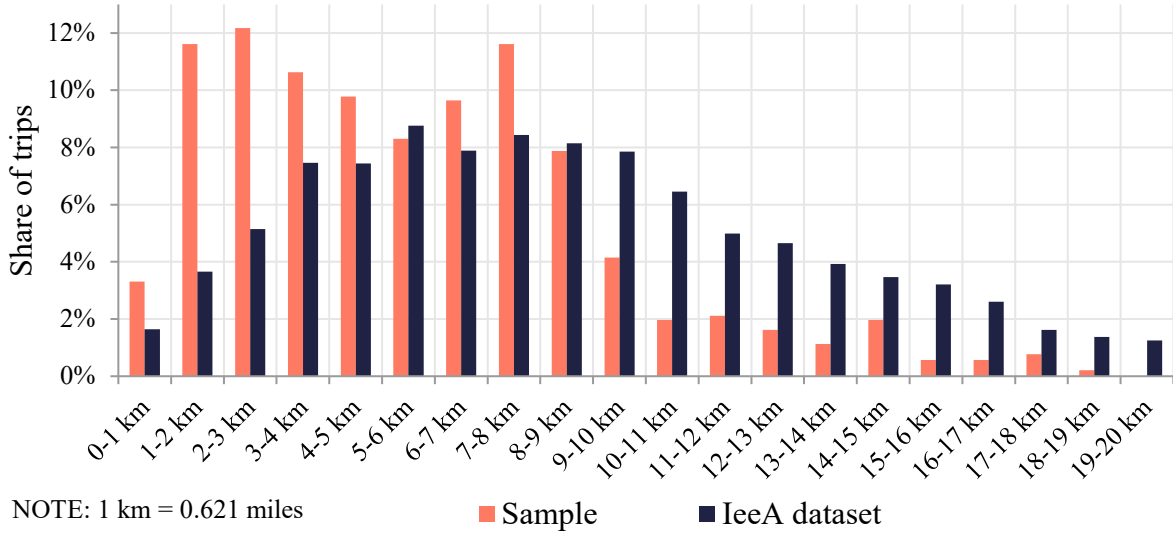


Fig. 23 Distribution of trip distances in sample ( $n=1,421$ ) and IeeA dataset ( $n=9,821$ ).

The s-curve in Fig. 24 is constructed based on the predictions for the IeeA dataset. The figure shows that around 50% of the trips can be done with a maximum delay of around 10 min if the users use a two-wheeled cargo cycle with “Pedelec-25” electric assist, and in the case of a three-wheeled “Pedelec-25” cargo cycle, the median value is around 12 min. If the user uses faster electric assist (“Pedelec 45”) on a two-wheeler, 50% of the trips can be done with a maximum delay of 8 minutes. The maximum delay that can be expected for all the trips is less than 40 min. Hence, even during time-critical situations, cargo cycles are viable alternatives to cars, though not in every case. This result shows that the range of expected travel time difference is consistent.

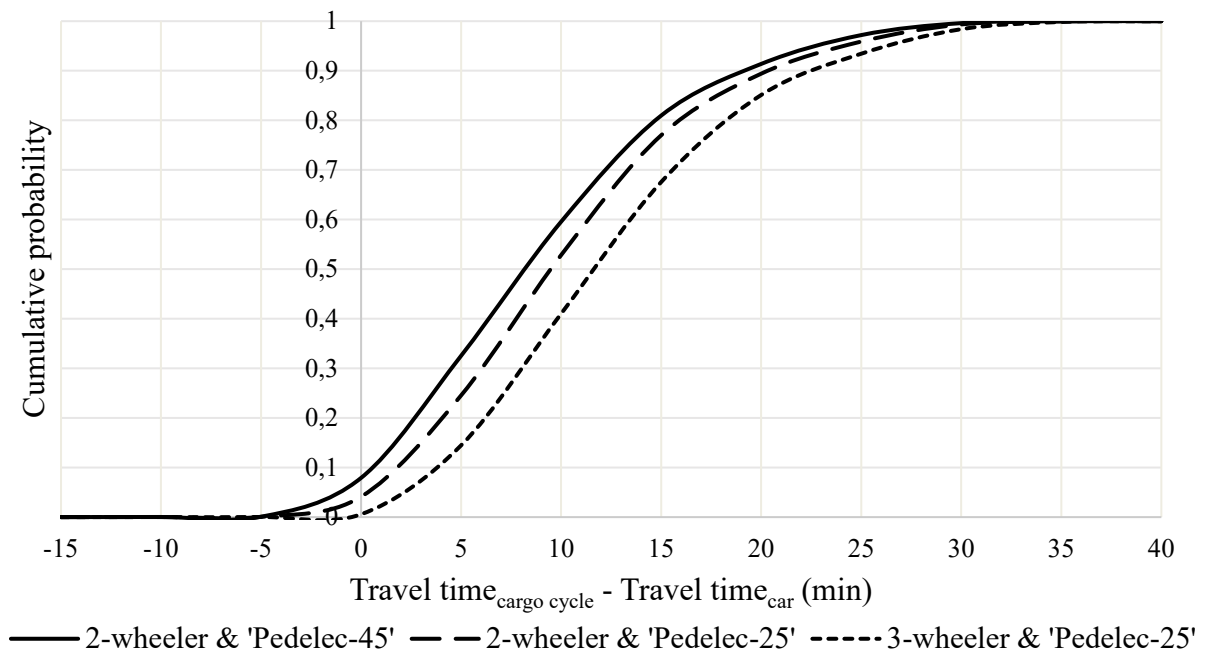


Fig. 24 Cumulative probability distributions for travel time difference between cargo cycles and cars for the trips collected from the IeeA database.

Fig. 25 shows the plot between car trip distance and predicted travel time difference for a two-wheeled cargo cycle with “Pedelec-25” electric assist and a car. This type of cargo cycle is highlighted because of its common usage, both in the sample (Tab. 19) and in commercial operations in general (Gruber et al. 2016). The plot clearly shows that there are a few cases where a cargo cycle is faster in relation to travel time, even for trips longer than 10 km (6.2 mi). A look into those data points reveals that this is mainly because of the difference in distance between cycle route and car route. This serves as evidence that cycles are better able to compete with cars in cities where shortcuts are available for cycles.

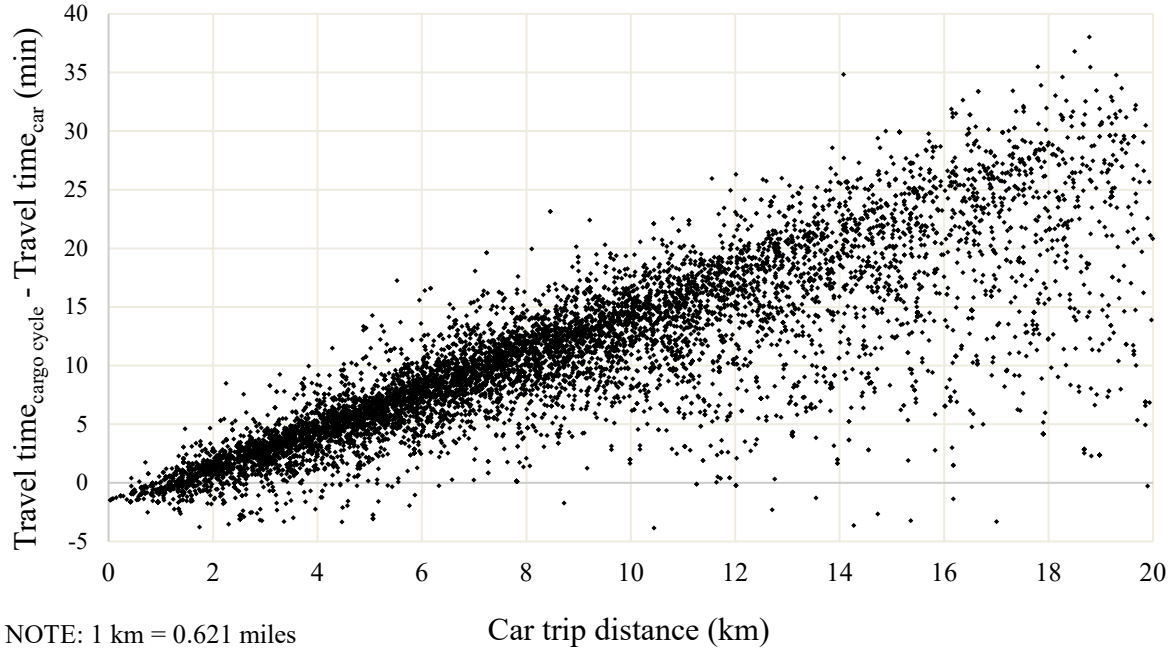


Fig. 25 Travel time difference between cargo cycle and car versus trip distance for two-wheeled cargo cycles with ‘Pedelec-25’ electric assist.

## 8.8 Scenario Analysis

Many cargo cycle trips in the sample dataset were conducted through suboptimal routes (not the shortest route in relation to trip distance; decided based on comparison with Google’s bicycle routing). To help practitioners get a feel of what could happen if the users take the optimal cycle route and the situation for cars is worse (highly congested), a scenario analysis was added.

A correction factor was generated based on the formula in Equation 3. This correction factor was applied to the trip distance for the trips in the sample, allowing the corrected trip distance and the average speed of the trips from the sample to be used to generate new travel times for each trip. Further, one minute will be subtracted from the travel time for starting and ending the smartphone app at origin and destination. Google’s “pessimistic values” would be considered as the travel times for cars as they are representative of a congested scenario for cars.

$$\text{correctionFactor} = \text{mean}(\text{Trip distance}_{\text{Google bicycle routing}}) / \text{mean}(\text{Trip distance}_{\text{cargo cycle}}) \quad (3)$$

The value of correctionFactor obtained is 0.95, meaning that the users have not chosen an optimal bicycle route but rather used familiar streets accepting (smaller) detours. The scenario analysis s-curve in Fig. 26 was constructed based on the new travel time difference, cyclists taking an optimum route and the cars facing above normal congestion. The other two curves represent the original travel time difference value used for model estimation (curve “Sample”) and the predicted travel time difference value for the IeeA dataset (curve “Model application”).

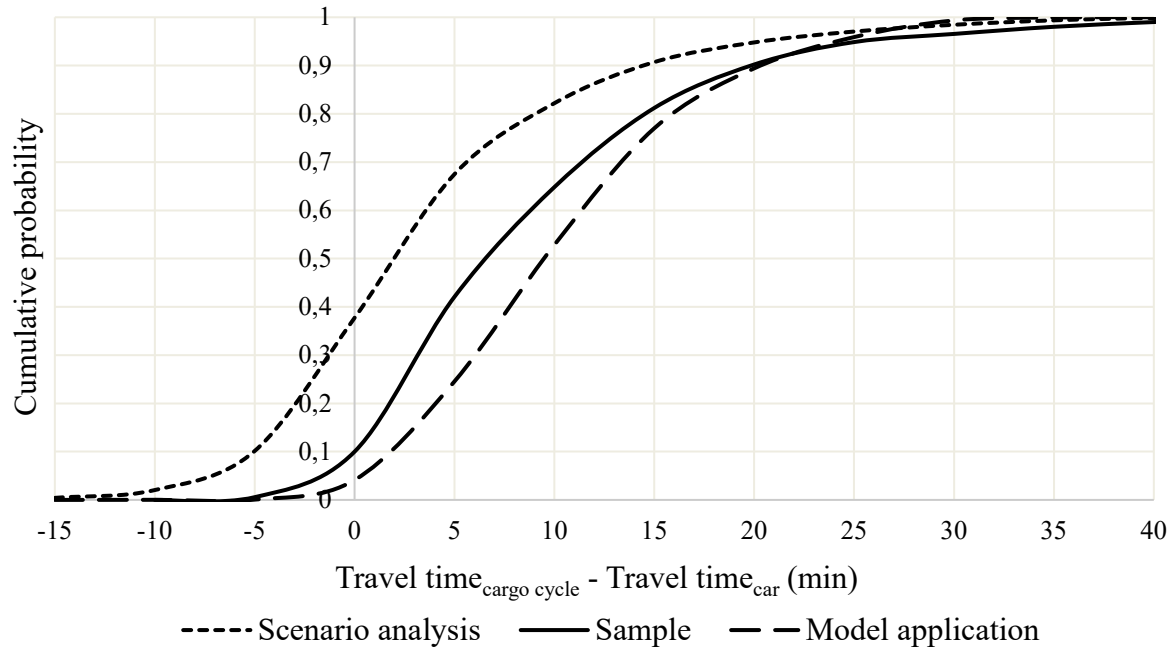


Fig. 26 Cumulative probability distributions for travel time differences between cargo cycles and cars.

As can be interpreted from the figure, though the trip length distribution can change the steepness of the s-curve, the range of values remains almost consistent. However, a change in traffic conditions would change both the steepness and the range of values.

## 8.9 Discussion

The findings from this study show that about half of the commercial transport trips switched from cars to cargo cycles wouldn't be delayed more than 2 – 10 minutes and 90% of the trips could be switched with less than 20 minutes delay. It should be noted that the current study did not consider other possible extra trip times for cars such as time for parking or walking to the exact spot of destination, the inclusion of such would decrease the expected travel time gap. There are, surprisingly, quite a few examples of cargo cycles having travel time advantages over cars, even at longer trip distances. While it is unfortunate not to offer a precise value for the travel time differences between cargo cycles and cars, the presented results should allow most commercial transport operators to make a reliable individual assessment. To achieve planning security in relation to delays, a relatively high travel time surplus per trip must be taken into account. However, the authors believe that operators are willing to accept a certain level of delay in return for the positive effects of switching to a cleaner vehicle.

As the scenario analysis shows, greater congestion on the road network could result in a different range of travel time delays. With cities becoming more and more congested and the government banning the entry of cars into certain streets, the possibility of an increase in travel time for cars is high, and hence it is expected that the travel time difference between cargo cycles and cars will be greatly reduced in future. This suggests that companies may benefit from using cargo cycles instead of cars.

Our findings quantify the influences of spatial context, time, vehicle-based attributes, and specific trip conditions. Concerning spatial attributes, while trip distance and the elevation favor the car, higher numbers of cars per capita in the respective city favors cargo cycles. Both in the morning and during the day up to 7 p.m. showed advantages for cargo cycles, mainly because of higher road network occupation and congestion delays for cars. Benefitting from the large variety of cargo cycle models involved in the sample, it was possible to show that two-wheelers are faster than three-wheelers and, as expected, cargo cycles are faster with electric assist. Loading more than three quarters of the available loading capacity will substantially decrease the cycling speed.

The novel aspect to the findings is that they were obtained using a large dataset of diverse real-life cargo cycle operations. Furthermore, the collected data is not too skewed compared to lightweight commercial transport up to 20 km (12.4 mi) trip distance in general. A further strength of this study is that it is including greater trip distances (up to 20 km) than other studies, which stop at 2 km (1.2 mi) (Melo & Baptista 2017) or 6 km (3.7 mil) (Faghih-Imani et al. 2017). This broader range increases the practical relevance of the results, as predictions for travel time differences between cargo cycles and cars can be made for a larger set of commercial trips.

This study also has its limitations. This work is based on a comparison of real-life cargo cycle trips with fictitious car trips that represent not the true value but rather historic averages. However, Google's routing data has been shown to be reliable in this regard. Naturally, there are more factors that could potentially affect travel time differences between cargo cycles and cars, two of which being socio-demographic attributes and attributes of the built environment such as type of bicycle infrastructure. The authors suggest future researchers explore such attributes. Further, a regression model is proposed because of the lower level of effort required to interpret and use this model. The model is meant to be readily used by the individual operators and business entities involved in commercial transport operations. However, the calibration of an existing simulation system could be tested in the future, which might be useful for large-scale business organizations.

## **8.10 Conclusion**

Cargo cycles are a viable potential alternative to combustion engine vehicles for many commercial transport operations, supporting cities to achieve air quality and carbon emission reduction goals. However, it was unclear whether cargo cycles are competitive enough in relation to travel time to replace existing vehicles. Building on cargo cycle trip data from 84 organizations throughout Germany, the estimated model can be used to predict the travel time differences between cargo cycles and cars. It is an important tool to assess travel time competitiveness of cargo cycles and to break down the reservations that currently exist among many operators. Values for the variables included in



the model can easily be obtained, and hence this model can be readily used by a company's decision-maker.

The travel time differences from both the sample and IeeA dataset show that a range of values can be expected based on the trip context. However, it is certain that the maximum travel time difference expected is around 40 min, even for a trip distance of 20 km (12.4 mi), with encouraging median delay values of 2 – 10 min. An explanation was discussed as to why this can serve as orientation for operators determining the feasibility of switching to cargo cycles. In conclusion, though a range of travel time differences can be expected based on the context of a trip, the application of cargo cycles is still promising.

Overall, the findings should give companies the confidence to try out cargo cycles and allow policy-makers to support the transition to smaller vehicles in commercial transport operations, given the potential to reduce transport-related emissions.

### **8.11 Acknowledgements**

This research was funded by the German Federal Ministry for the Environment, Nature Conservation and Nuclear Safety (project 03KF0066). The authors would like to express their gratitude to the four reviewers who helped to improve the manuscript substantially. The authors also want to thank Prof. Dr. Constantinos Antoniou, Emmanouil Chaniotakis (both TUM), Lars Thoma (DLR), and Dr. Alexander Kihm (Fairr.de pension solutions) for critical discussion, as well as Karolin Bludau and David Brunner (DLR) for references management.

### **8.12 Author Contributions**

The authors confirm contribution to the paper as follows: study conception and design: JG; data collection: JG, SN; analysis and interpretation of results: JG, SN; draft manuscript preparation: JG, SN. Both authors reviewed the results and approved the final version of the manuscript.

## 9 Synthese und Diskussion

Im Folgenden werden die vorgestellten fünf Fachartikel A-1, A-2, B-1, B-2 und C anhand der in Kap. 2 und insbesondere Tab. 6 identifizierten drei Teilfragestellungen bzw. Forschungsbeiträge A, B und C synthetisiert (Kap. 9.1, 9.2 und 9.3) und in der Gesamtschau integrierend diskutiert (Kap. 9.4).

### 9.1 Marktchancen und Nutzerakzeptanz am Beispiel Kurierdienstleistung (Forschungsbeitrag A)

Die Teilfragestellung zum Forschungsbeitrag A lautet:

*Wie erfolgversprechend ist das Fahrzeugkonzept „elektrifiziertes Lastenrad“ in einem Markt mit ersten Anwendern?*

#### 9.1.1 Marktchancen

Für diese Fragestellung wurde der Markt der städtischen Kurierdienstleistungen als Pilotsektor identifiziert. Die Analyse der Marktchancen des Fahrzeugkonzepts „E-Lastenrad“ bezog sich auf acht regionale Kurierzentralen, die in ihren jeweiligen Heimatstädten zu den Marktführern für Kurierdienstleistungen gehören (vgl. Ninnemann et al. 2017). In einem Feldversuch wurde ein Berliner Betrieb mit einem geschätzten Marktanteil von 30 % der Kuriertransporte in Berlin und Umgebung im Detail betrachtet.

E-Lastenräder sind ein „neues altes“ Fahrzeugkonzept, das sich bei der Penetration des Kuriermarkts mindestens zwei bereits etablierten Transportmitteln gegenüber sieht: Pkw und Fahrrad. Beim Eintritt in diesen Markt konkurrieren Nutzer dieses Fahrzeugkonzepts also gleichzeitig mit Pkw-Kurier\*innen sowie mit Kurier\*innen auf konventionellen Fahrrädern. Diese Positionierung erschwert die Etablierung des untersuchten Fahrzeugkonzepts, ermöglicht aber gleichzeitig den Vergleich mit zwei Bezugspunkten. Sie erfordert nämlich eine Abgrenzung zentraler Parameter (wie der Nutzlast) in beide Richtungen, d.h. nach oben gegenüber der nächsthöheren Fahrzeugkategorie (Pkw) und nach unten gegenüber der kleineren Fahrzeugkategorie (Fahrrad). Für die Nutzlast liegt dieser optimale Bereich bei etwa 15 bis 80 kg.

Zum Beobachtungszeitpunkt lagen im Stadtkuriergeschäft ausreichend Sendungen mit passendem Gewicht und passender Sendungsdistanz für einen etablierbaren Marktanteil für Lastenrad-Kuriertransporte vor: Das technische Potenzial wurde mit 42 % der Fahrten und 19 % der Fahrleistung bei einer Verlagerung von Fahrten bis zu 10 km Sendungsdistanz abgeschätzt. Angebotsinduziert kann zukünftig auch weitere spezifisch lastenradtaugliche Transportnachfrage entstehen und die Anwendbarkeit des Lastenrads erhöhen. Eine vollständige Substitution der angrenzenden Fahrzeugklassen kann aber nicht erwartet werden.

Die empirischen Befunde, von welchem der bestehenden Teilmärkte zukünftig mehr auf das Lastenrad verlagert werden würde, sind wie erwartet ambivalent: Autofahrer\*innen sehen das Lastenrad als Konkurrenz zum Fahrrad, Radkurier\*innen sehen es als Konkurrenz zum Pkw. Der Blick auf die im Projekt „Ich ersetze ein Auto“ (Gruber 2015) umgesetzten Modal-Split-Veränderungen zeigt die komplexen Zusammenhänge im Wettbewerb der Fahrzeugkonzepte. So entstand durch den vorrangigen Umstieg von Fahrradkurier\*innen auf das Lastenrad in der Projektphase ein

Kapazitätsmangel für die Durchführung von klassischen Fahrradaufträgen. Während „der Modal-Split-Anteil von nicht-verbrennungsmotorisierten Fahrzeugen [...] [bei originären Pkw-Aufträgen] von 11 % auf 16 % [...] [und bei originären Kastenkombi-Aufträgen] von 2 % auf 9 %“ stieg, da diese von Lastenradkurier\*innen durchgeführt wurden, sank gleichzeitig „der Anteil umweltfreundlicher Kurierfahrzeuge bei der Beförderung [der mengenmäßig dominanten] Fahrrad-Aufträge[n] von 56 % auf 53 %“, was in Summe zu einem „Nullsummenspiel und einem konstant bleibenden Modal-Split-Anteil bei Betrachtung aller Aufträge Berlins“ führte (Gruber 2015:55).

Kurierdienstleistungen sind von einem hohen Leerfahrtenanteil geprägt. Das Auto bietet insofern bei zeitkritischen Direktfahrten („point-to-point“) keinen Bündelungsvorteil, allerdings hat in der gleichen Logik auch das Lastenrad keinen Vorteil gegenüber dem/der klassischen Fahrradkurier\*in mit Rucksack oder Gepäcktasche. Das Stadtkuriergeschäft ist grundsätzlich sehr fahrradtauglich, gleichzeitig sind somit die zusätzlichen Vorteile von E-Lastenrädern gegenüber herkömmlichen Fahrrädern spezifisch und begrenzt.

Als erschwerend für die weitere Etablierung im Kuriermarkt wurde die teilweise geringe Innovationsfreudigkeit der beteiligten Unternehmen identifiziert. Bei einigen der betrachteten regionalen Kurierzentralen wird am Geschäftsmodell aus den Gründungszeiten in den 1990er-Jahren festgehalten, etwa hinsichtlich Arbeitsorganisation, Disposition und Entlohnung. Basierend auf den Erhebungen im Jahr 2013 kann bezweifelt werden, dass sich Lastenräder als Automatismus bei klassischen regionalen Kurierzentralen etablieren werden.

Wie in Fachartikel A-1 unter Kap. 4.7 ausgeführt, bietet das Fahrzeugkonzept allerdings eine Chance für neu gegründete Unternehmen, die sich speziell auf Lastenradlogistik konzentrieren und ihr Geschäftsmodell mit bewusstem Blick auf die Handlungsspielräume von E-Lastenrädern konzipieren (bspw. die Firmen Velogista und Velocarrier). Im damaligen Forschungskontext nicht beleuchtet wurde hingegen die Digitalisierung, welche auch im Wirtschaftsverkehr in den letzten fünf bis zehn Jahren eine zunehmend hohe Veränderungsdynamik verursachte (Borreck et al. 2017). Neue plattformbasierte Geschäftsmodelle finden sich auch in der Kurierlogistik (Seiter et al. 2019). Die von den klassischen Stadtkurierzentralen ausgeführte Dienstleistung (d.h. die Vermittlung von Angebot und Nachfrage von Kurieraufträgen mit Rückgriff auf selbstständige Unternehmer\*innen) kann sogar als ein typischer Anwendungsfall für Plattformökonomien betrachtet werden, ähnlich wie es im Personenverkehr Fahrdienstvermittlungen wie Free Now sind (Viergutz et al. 2020). Dementsprechend erschienen in diesem Geschäftsfeld in den letzten Jahren auch Start-ups und aus ursprünglich logistikfernen Branchen (Berlin Valley 2017). Die Effekte dieser Entwicklung auf die Marktchancen von Lastenrädern können an dieser Stelle nicht abschließend bewertet werden, zwei positive Effekte sind aber offensichtlich vorstellbar: Erstens könnte Kunden im Rahmen eines nachhaltigkeitsorientierten Angebots die Wahl des Transportfahrzeugs aktiv ermöglicht werden und zweitens könnte der grundsätzlich disruptive Charakter durch den Eintritt neuer Akteure im Bereich Last-Mile-Logistik dazu führen, dass Hemmungen vor neuen Fahrzeugkonzepten abgebaut werden.

### 9.1.2 Nutzerakzeptanz

Im Geschäftsbereich von klassischen Kurierzentralen ist die Adoption von Lastenrädern (noch) stark abhängig von den in diesem Markt häufig vorzufindenden selbstständigen Kurier-Einzelunternehmer\*innen, die eine hohe Entscheidungsgewalt über Fahrzeuganschaffung und -nutzung haben (dezentrale Fahrzeugwahlentscheidung). Die Einstellung der Kurier\*innen gegenüber Lastenrädern kann daher als wichtiger Proxy für den Erfolg dieses Fahrzeugkonzepts in dieser Branche dienen. Stadtkurier\*innen gehören zu den Pionier\*innen der gewerblichen Fahrradnutzung, sind aber eine untererforschte Berufsgruppe.

Ihre Bewertung des E-Lastenrads wurde ex-ante zunächst als positiv ermittelt; dabei unterscheiden sich die Aussagen von Fahrradkurier\*innen nur geringfügig von denen der Autokurier\*innen. Für die Befragten haben Lastenräder einen recht selbstverständlichen Platz in der urbanen Logistik, das Fahrzeugkonzept wird nicht als abwegige Lösung verstanden. Die Befragten maßen dem E-Lastenrad ein hohes Potenzial zu, nahmen aber eine zu geringe elektrische Reichweite und einen zu hohen Kaufpreis als die größten Barrieren wahr und bemängelten ferner die geringe Informationsverfügbarkeit zu diesem Fahrzeugkonzept. Tatsächlich wurden 25 der 40 damals getesteten E-Lastenräder von 16 Ah auf 32 Ah Kapazität aufgerüstet, um die Tagesfahrleistungen im Kuriergeschäft elektrisch unterstützt bewältigen zu können (Gruber 2015). Im Gegensatz zum Phänomen der Reichweitenangst bei privater Elektromobilität (exemplarisch bei Needell et al. 2016) handelte es sich bei der damaligen Einschätzung durch „Profis“ also um ein tatsächliches Hemmnis, welches sich aber in den vergangenen acht Jahren seit der Erhebung dieser Daten durch technischen Fortschritt relativiert haben dürfte.

Während Lastenradnutzung zwar als sehr umweltfreundlich angesehen wurde, war diese Einschätzung aber in der Regel keine Motivation für die eigene Nutzungsentscheidung. Paradoxe Weise konnte eine häufige Parallelität festgestellt werden zwischen der persönlichen Ablehnung von Lastenrädern (rund 40 % „Rejecters“) bei gleichzeitiger Zustimmung (86 %), dass dieses Fahrzeugkonzept im Kuriergeschäft sinnvoll eingesetzt werden könne.

In der Branchenpraxis ist eine Einteilung in Fahrrad- und Autokurier\*innen üblich, das verwendete Fahrzeug schafft gewissermaßen eine Gruppenzugehörigkeit. Dies spiegelt sich sogar in einer differenzierten Tarifierung wider, wenngleich diese nicht einmal für den Kunden eine Durchführungsgarantie mit der gebuchten Fahrzeugkategorie bedeutet. Die empirischen Ergebnisse zeigen, dass diese Gruppeneinteilung auch ein praktikabler Proxy für die Akzeptanz von Lastenrädern ist, dahinter aber auch andere Faktoren wirken:

- Die Akzeptanz dieses Fahrzeugkonzepts wird von sozioökonomischen Faktoren wie Alter, Einkommen, Bildung und Geschlecht geprägt, was in Einklang mit der Literatur zur Adoption von technischen Innovationen steht.
- Weiterhin spielen Aspekte der Arbeitsorganisation (etwa der Wunsch, mehrere Sendungen zu bündeln) oder allgemeines Technologieinteresse einen signifikanten Einfluss.
- Angesichts der Selbsteinschätzung der Wichtigkeit von berufsbezogenen Merkmalen sowie der Zufriedenheit mit ihnen durch die Kurierfahrenden kann geschlossen werden, dass die meisten Autokurier\*innen nicht auf das Lastenrad umsteigen werden, da ihnen die Aspekte

„geringer CO<sub>2</sub>-Fußabdruck“ und „Bewegung bei der Arbeit“ zu wenig wichtig sind, sie bei einem Umstieg aber einen negativen Effekt auf ihre als sehr wichtig bewertete Einkommenssituation erwarten.

### **9.1.3 Methodische Limitationen**

Sowohl Artikel A-1 als auch A-2 zeigen Modelle zur Erklärung von Einflussfaktoren auf die Lastenradakzeptanz unter Kurier\*innen. Die Ergebnisse sind in weiten Teilen konsistent, dennoch erfordert die verwendete Methodik eine kritische Würdigung. Während in Artikel A-1 nur ex-ante die 1. Welle der Kurierbefragung (vor dem eigentlichen Lastenradtest) zur Erklärung des Nutzungsinteresses („Willingness-to-use“) herangezogen wurde, werden für Artikel A-2 die Datensätze der beiden Befragungswellen (sowohl die ex-ante als auch die ex-post Befragung) miteinander kombiniert und auf die in beiden vorhandene finale Ablehnungshaltung („Rejection“) regressiert. Weder die abhängigen Variablen noch die Stichproben sind also identisch zwischen A-1 und A-2.

Im Artikel A-2 wurde postuliert, dass es unerheblich sei, ob eine Ablehnung vor oder nach dem Test evident wurde. Kritisch kann hinterfragt werden, dass sich im Sample von 362 Antworten nur 299 verschiedene Kurier\*innen befanden, also 63 Mehrfachantworten gegeben wurden und daher eine potenzielle Verzerrung vorliegt. Dieses Vorgehen wurde dennoch gewählt, und zwar wegen der beschriebenen Fokussierung auf „Rejection“, der kleinen Fallzahl von 63 Teilnehmer\*innen an beiden Befragungswellen sowie der geringen ermittelten Korrelation zwischen Zielgröße und der Zugehörigkeit zu einer Befragungswelle (siehe Kap. 5.2.2). Eine Verzerrung durch Mehrfachantworten tritt v.a. bei der deskriptiven Statistik auf, so dass die Ergebnisse zur Charakterisierung der Berufsgruppe (siehe Kap. 5.3.1) nur bedingt aussagefähig sind.

Im Ergebnis werden im Artikel A-2 zudem die vorgestellten Modelle ohne einstellungsbezogene Variablen favorisiert, da Letztere endogen sein könnten.

## **9.2 Treiber und Hemmnisse gewerblicher Lastenradnutzung (Forschungsbeitrag B)**

Mit dem Forschungsbeitrag B findet eine Weitung der Perspektive auf den gesamten städtischen Wirtschaftsverkehr statt – die Arbeit bezieht sich also im Folgenden nicht mehr nur auf die Kurierbranche.

Die Teilfragestellung zum Forschungsbeitrag B lautet:

*Wie lassen sich die Einflussfaktoren auf die Nutzung von Lastenrädern im städtischen Wirtschaftsverkehr strukturiert beschreiben?*

Zur Beantwortung der Teilfragestellung soll im Rahmen dieses Synthesekapitels der Bogen noch einmal weiter gefasst werden, mit dem Ziel, die zwei Strukturierungen aus den Fachartikeln B-1 und B-2 zueinander in Bezug zu setzen.

### **9.2.1 Exploration anhand von drei Einflussphären**

Die Strukturierung von Determinanten der gewerblichen Lastenradnutzung findet in Artikel B-1 in Anlehnung an die Adoptionsliteratur in drei Gruppen statt: Es wird unterschieden zwischen

umfeldspezifischen, unternehmensspezifischen und produktspezifischen Einflussfaktoren, im Folgenden auch „Drei-Einflusssphären-Modell“ genannt. Die in den Expertengesprächen (Artikel B-1) ermittelten Determinanten legen nahe, dass die Verbreitung von Lastenrädern im Wirtschaftsverkehr im Kontext dieses Fachartikels ein geeigneter Anwendungsfall für dieses klassische Analyseraster ist, wenngleich auch Schwächen offensichtlich werden.

Das Drei-Einflusssphären-Modell kann zunächst als geeignetes Schema betrachtet werden, da jede Sphäre wichtige Aspekte für die Lastenradverbreitung enthält. Produktspezifische (hier: fahrzeugseitige) Aspekte wie die elektrische Reichweite und die Ladekapazität sind fraglos relevante Entscheidungskriterien. Die Ausführungen zeigen allerdings auch, dass das adoptierende Unternehmen, seine Strukturen und die Erfahrungen der Entscheider\*innen gleichermaßen betrachtet werden müssen. Gleiches gilt für die regulativen Rahmenbedingungen.

Das Schema zeigt auch, dass zahlreiche Aspekte unternehmensübergreifend gültig sind, eine Bewertung der Einsatzchancen von Lastenrädern also nicht nur vom jeweiligen betrieblichen Einzelfall abhängig ist.

### **9.2.2 Methodische Limitationen dieser Betrachtungsweise**

Das Drei-Einflusssphären-Modell weist aber auch Lücken auf, die im Folgenden diskutiert werden.

Die Vielfalt an tatsächlichen betriebsindividuellen Spezifika, die bei der organisatorischen Fahrzeugkaufentscheidung eine Rolle spielen, kann dieses Analyseraster nicht vollständig abbilden. Stattdessen bleibt es an einigen Stellen sehr abstrakt und kann bspw. hinsichtlich des Einflusses des Flottenentscheidungsstils nur Tendenzen darstellen, etwa dass autokratische Fuhrparkentscheidungen eher zum Testen von neuartigen Fahrzeugkonzepten wie dem Lastenrad führen (in Einklang mit Nesbitt & Sperling 2001).

Die Zuordnung von Aspekten zu einer Einflusssphäre ist zudem nicht immer eindeutig, was am Beispiel von fahrzeug- und umfeldbezogenen Aspekten gezeigt werden kann: Die Sichtbarkeit bzw. Erprobbarkeit wird jeweils als Produkteigenschaft, also Eigenschaft des Fahrzeugkonzepts, aufgeführt. Gleichermäßen werden Sichtbarkeit und Erprobbarkeit aber auch vom ökonomischen Umfeld beeinflusst, etwa dem Mangel an spezialisiertem Einzelhandel, Werkstätten und Leasing-Angeboten.

Weitere Nachteile des Schemas sind die nur in Ansätzen dargestellte Kontextabhängigkeit einzelner Einflussfaktoren und die fehlende Quantifizierung. Mit Kontextabhängigkeit ist gemeint, dass die Wirkungsrichtung einiger Einflussfaktoren ambivalent ist und je nach Betrachtung sowohl Treiber als auch Hemmnis sein kann, abhängig z.B. von Branche, Verkehrsart (Güterwirtschaftsverkehr oder Personenwirtschaftsverkehr) oder den räumlichen Bedingungen. Zudem bietet das Schema nur sehr begrenzt Aussagen zur Stärke des Einflusses. Die große Menge an aufgelisteten Faktoren verstellt gewissermaßen den Blick auf die substanziellsten Determinanten.

### **9.2.3 Vorschlag einer Weiterentwicklung**

Zur Lösung einiger der genannten Probleme folgte in Artikel B-2 die Quantifizierung und Dimensionsreduktion mithilfe des Verfahrens der Hauptkomponentenanalyse. Dieses Verfahren ordnet

die Vielzahl einzelner Aspekte einer darüber liegenden Faktorenstruktur zu. Damit konnten elf positive und zwölf negative Aspekte der Lastenradnutzung auf drei Treiber-Faktoren und vier Hemmnis-Faktoren reduziert werden. Die Ergebnisse der Hauptkomponentenanalyse verbessern damit das Drei-Einflussphären-Modell, wie im nächsten Kap. 9.2.4 weiter ausgeführt wird.

Zur besseren Lesbarkeit wird Fig. 19 aus Fachartikel B-2 in der folgenden Fig. 27 noch einmal in deutscher Sprache wiederholt, ergänzt durch die Item-Codes<sup>15</sup> der Hauptkomponentenanalyse.

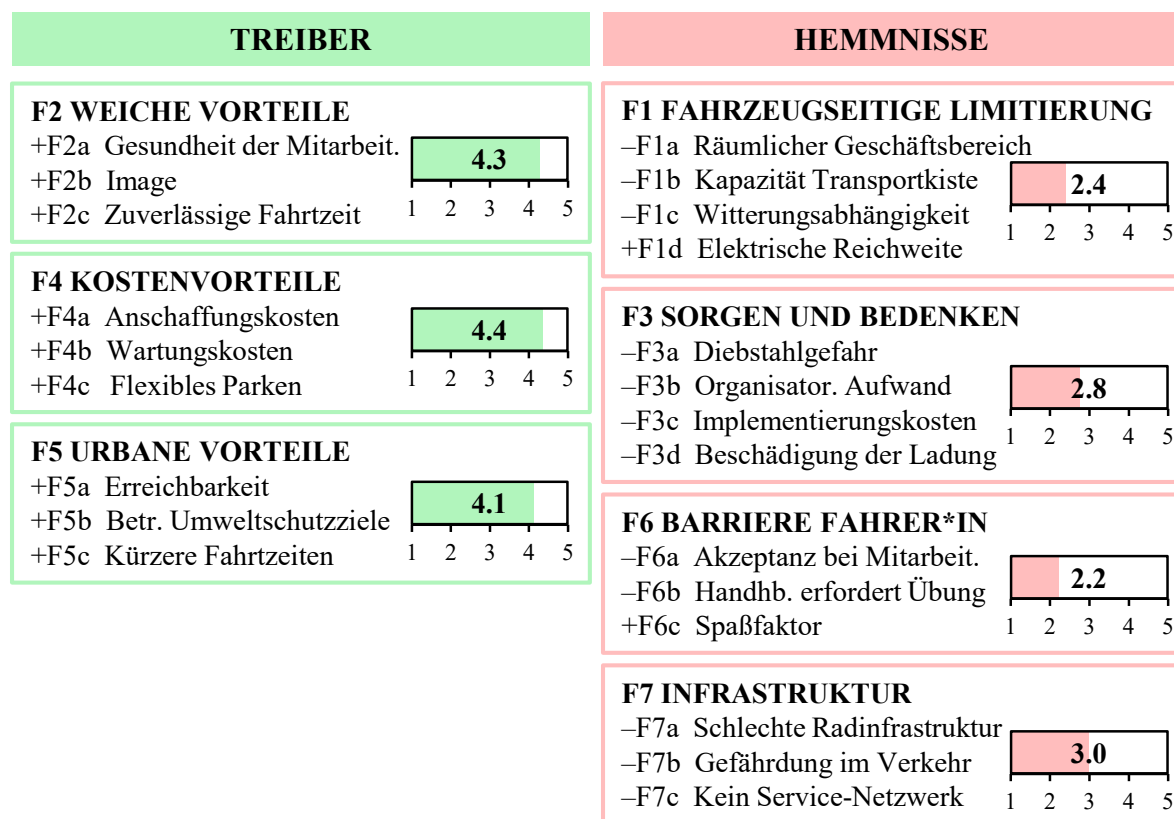


Fig. 27 Zuordnung der 23 abgefragten Treiber und Hemmnisse (inklusive Item-Codes) zu den sieben Hauptfaktoren F1 bis F7 und mittlere „factor scores“ (leicht verändert nach Fig. 19)

Eine Synthese der Forschungsbeiträge B-1 und B-2 bietet die nachfolgende Tab. 22. Darin sind (hier in leicht überarbeiteter Form) die Determinanten anhand der drei Einflussphären aufgeführt (1. bis 3. Spalte). Die 4. und 5. Spalte enthalten eine Einordnung der Aspekte als Treiber bzw. als Hemmnis, sofern diese Kontextualisierung im Ergebnis nicht eine verbleibende Ambivalenz zeigt. So sind Treiber häufig punktuell, d.h. räumlich oder sektoral begrenzt gültig, während Hemmnisse eher großflächig gelten und den kontextuellen Status quo (z.B. Verkehrsinfrastruktur) oder den branchenübergreifenden „Mainstream“ (z.B. geringe Angst vor Fahrverboten) widerspiegeln.

<sup>15</sup> Lesehilfe: –F1a kennzeichnet ein Item, das empirisch als Hemmnis (–) abgefragt wurde. Es ist der Hauptkomponente F1 („F1“) zugeordnet und ist in dieser Hauptkomponente das Item mit der höchsten Faktorladung („a“).

Tab. 22 Synthese der Analyse von Treibern und Hemmnissen der gewerblichen Lastenradnutzung

Strukturierung der Determinanten in drei Einflussphären (Artikel B-1)		Einflussfaktor	Kontextualisierung als Treiber	Kontextualisierung als Hemmnis	Item-Code HKA (B-2)
Umfeld	Regulative/politische Rahmenbedingungen	Zufahrtsbeschränkungen	Punktuell: Lastenräder haben mehr Handlungsspielraum als konventionelle Kfz in für Fahrräder freigegebenen Fußgängerzonen und ggf. bei dieselbedingten Durchfahrtsverboten.	Großflächige Zufahrtsbeschränkungen (etwa in Folge der Einführung einer City-Maut) sind vielerorts unwahrscheinlich.	+F5a
		Anwendung Ordnungsrecht	Schafft sukzessive Vorteile: z.B. stärkere Ahndung des Parkens in zweiter Reihe, Verkehrszeichen „Lastenfahrrad“ (StVO-Novelle 2020)	Die derzeitige Handhabung (z.B. pauschale Strafgebühren für Paketdienste) hat noch zu wenig Lenkungswirkung weg vom Kfz und in Richtung Lastenrad.	/
		Besteuerung Dienstwagen/Dienstrad	Novellierung Dienstradbesteuerung 2012, Viertelung der Bemessungsgrundlage („0,25 %-Regel“) 2020.	/	/
		Mindestlohn	Kompensation steigender Personalkosten (ggf. mehr Fahrer*innen benötigt) durch geringere Betriebskosten v. Lastenrädern möglich.	Substitution von Lieferfahrzeugen durch Lastenräder erfordert häufig mehr Personal (insbesondere in der Paketzustellung).	/
	Sozialräumlicher Kontext	Stadtmorphologie	Citylagen, historische Altstadtkerne und andere Ortslagen mit einer Konzentration der gewerblichen Verkehrsnachfrage und des verkehrsinduzierten Problemdrucks weisen eine sehr hohe Eignung für alternative Fahrzeugkonzepte auf.	Großflächiger Status quo: Verkehrsinfrastruktur ist vielerorts weiterhin geeignet für konventionelle Lieferfahrzeuge.	(+F5a)
		Fahrradinfrastruktur	Eine nach Stand der Technik ausgebaute Fahrradinfrastruktur ist förderlich, kann nahezu als Grundvoraussetzung für Fahrrad-Wirtschaftsverkehr bezeichnet werden.	Status quo: Fahrradinfrastruktur ist vielerorts schlecht ausgebaut.	–F7a
		Lokale Fahrradkultur, Sichtbarkeit von Fahrrad/Lastenrad	Orte mit hoher privater Fahrradaffinität oder lokalen Lastenrad-Pilotprojekten sind prädestiniert für eine schnellere Verbreitung der Lastenradnutzung im Wirtschaftsverkehr.	/	/
	Ökonomisches Umfeld	Verkleinerung der Sendungsgrößen, wachsende Nachfrage nach Zeitfensterzustellung	Zeitfensterzustellung in Innenstädten ist lastenradaffin; siehe auch Ladekapazität (fahrzeugseitiger Einflussfaktor).	Zeitfensterzustellung ist im Vergleich zum Mengengerüst der Standard-Paketzustellung eine Nische; siehe auch Ladekapazität (fahrzeugseitiger Einflussfaktor).	/
		Innovative Geschäftsmodelle	Geschäftsmodelle können aktiv die Handlungsspielräume von Lastenrädern (etwa hinsichtlich Reichweite und Zuladung) nutzen; Kooperationen von stationären Einzelhändlern ermöglichen Heimzustellung (gemeinsames Label denkbar).	/	/
Unternehm	Unternehmerische Strategien, Entscheidungsstrukturen und Ziele	Flottenentscheidungsstil	Autokratische oder demokratische Flottenentscheidungsstrukturen fördern tendenziell Lastenradanschaffungen.	Bürokratische oder hierarchische Strukturen hemmen tendenziell Lastenradanschaffungen.	(–F3b)
		Optimierung der Gesamtbetriebskosten (TCO)	Die Gesamtbetriebskosten von Lastenrädern können geringer sein als bei konventionellen Fahrzeugen.	In vielen Betrieben führen Transformationskosten durch organisatorischen Aufwand, fehlende Erfahrung, höhere Personalkosten und die Anschaffung von Lastenrädern als <i>zusätzliche</i> Flottenfahrzeuge (zumindest) anfänglich zu höheren TCO.	–F3c +F4a +F4b



<b>Unternehmen (Fortsetzung)</b>	Unternehmerische Strategien, Entscheidungsstrukturen und Ziele (Fortsetzung)	Fokus Ökologie, Nachhaltigkeitsstrategie	Die Bedeutung unternehmerischer Verantwortung bei Umweltthemen („corporate environmental responsibility“) wächst, Lastenräder könnten bspw. mit dem Ziel der Reduktion des betrieblichen CO <sub>2</sub> -Fußabdrucks unternehmensintern gefördert werden.	Nachhaltigkeitsaspekte spielen in den Überlegungen vieler Unternehmen weiterhin eine untergeordnete Rolle; bei Kunden von Transportdienstleistungen besteht kaum Aufpreisbereitschaft für eine CO <sub>2</sub> -freie Lieferung.	+F5b
		Marketing-Ziele	Derzeit überwiegen die positiven und imageförderlichen Konnotationen des Lastenrads.	/	+F2b
		Resilienz gegenüber Fahrverboten	Drohende Fahrverbote führen sektoral (etwa in der Paketbranche) zu einer verstärkten Auseinandersetzung mit Lastenrädern.	Großflächiger Status quo: Die Mehrzahl der Unternehmen spüren diesbezüglich keinen Handlungsdruck.	+F5a
	Subjektive Einstellungen der Entscheider*innen	Eigene Lastenraderfahrung	Eigene Nutzungserfahrung ist adoptionsfördernd, da Entscheider*innen realistischer die Einsetzbarkeit einschätzen und sich häufig persönlich für die Lastenradnutzung engagieren.	Der Mehrzahl an Fuhrparkentscheider*innen fehlen persönliche Erfahrung und Wissen im Umgang mit Lastenrädern.	/
		Mitarbeiter-Motivation, wahrgenommene/antizipierte Vorteile oder Bedenken	Überwiegend starke Wahrnehmung von weichen Faktoren wie Spaß, Bewegung an der frischen Luft, Gesundheitsvorteile für Mitarbeitende.	Teilweise: Lastenräder seien gegenüber Mitarbeitenden nicht „vermittelbar“, da Bedenken in puncto Witterung, Verkehrssicherheit, Komfort, Aussehen oder Ansehen; Dienstwagen gilt weiterhin als Prestigeobjekt.	+F6c +F2a -F6a -F7b
<b>Fahrzeug</b>	Eignung für Transportaufgaben (Kompatibilität)	Materialqualität bei konventionellen Bauteilen	/	Derzeit starkes Hemmnis, insbesondere in beanspruchenden Branchen wie der Paketzustellung.	/
		Ladefähigkeit (Sendungsgröße, Sendungsgewicht)	Kann Vorteil sein (branchenabhängig); Ladefähigkeit von Lastenrädern eignet sich gut für kleine u. zeitkritische Sendungen.	Kann Hemmnis sein (branchenabhängig); Ladefähigkeit ist für viele Sendungen nicht ausreichend.	-F1b
		Sensitivität der Güter	/	Punktuell können Sendungen nicht für den Lastenradtransport geeignet sein (z.B. zu wenig Federung bei Kopfsteinpflastern).	-F3d
		Sendungsdistanz, Elektrische Reichweite	Sendungsdistanz geeignet bei Direktfahrten, Essenzustellung; Elektrifizierung bietet Grundlage für leistungsfähigere Modelle.	Häufig liegen in der Praxis aber auch zu große Distributionsgebiete vor.	-F1a +F1d
		Geschwindigkeit, Effizienz (Wendigkeit, Raumbedarf) u.a.	Dies sind Kernvorteile des Lastenrads, etwa flexibles Parken unmittelbar am Zielort; generell wird der Fuhrpark damit agiler.	/	+F4c +F5c
	Vergleich des Lastenrads mit konventionellen Fahrzeugen (relativer Vorteil/Nachteil)	Planbarkeit (Verkehrssensitivität, Parkplatzsuche)	Ja: Geringere Stauanfälligkeit.	/	+F2c
		Service-Netzwerk, Wartung, Fahrzeuganpassungen	/	Klarer Nachteil: Fehlende Strukturen, teilweise lange Lieferzeiten für Ersatzteile, wenige Anbieter für spezifische Aufbauten.	-F7c
		Fahrerlaubnis, Handhabung	Punktuell relevant: Für Lasten-Pedelecs bis 250 W E-Antrieb wird keine Fahrerlaubnis benötigt.	Generell: Das Fahren erfordert Übung, einige Modelle zeigen ein (anfänglich) ungewohntes Fahrverhalten.	-F6b
		Diebstahlgefahr	/	Lastenräder können leichter als Kfz gestohlen werden.	-F3a
		Werbewirksamkeit	Derzeit hohe Werbewirksamkeit (vgl. Marketing-Ziele).	/	+F2b
		Witterungsabhängigkeit	/	Je nach persönlicher Einschätzung potenziell deutlicher Nachteil.	-F1c
		Testmöglichkeit und Leihmöglichkeit	/	Tendenziell Nachteil, da Testen nicht flächendeckend möglich; einige Leihangebote richten sich an Privatanutzer.	/
	Verfügbarkeit von Lastenrädern (Erprobbarkeit)	Verfügbarkeit im Handel und Modellvielfalt	Diversifikation der Modelle wird zunehmend zum Treiber.	Verfügbarkeit im Handel gering, da hohe Kapitalbindung und Nische.	/

Die fehlende Wirksamkeitsbreite der lastenradförderlichen Aspekte ist ein möglicher Grund für den bislang sehr geringen Umsetzungsgrad von Fahrrad-Wirtschaftsverkehr: Es lassen sich zwar viele und ggf. auch starke Treiber-Aspekte benennen, diese sind aber nicht großflächig gültig. Der Blick auf die mit dem Lastenrad in Wettbewerb stehenden Fahrzeugkonzepte (z.B. dieselbetriebene Transporter der „Sprinter-Klasse“) zeigt das gegenteilige Bild: Starke Hemmnisfaktoren wie Fahrverbote sind nur punktuell gültig.

Die soeben gezeigte Tabelle stellt weiterhin dem analytischen Ausgangsraster (Drei-Einflusssphären-Modell) die sieben Hauptkomponenten bzw. ihre Item-Codes gegenüber (6. Spalte). Es wird deutlich, dass die meisten Hauptkomponenten eine Auswahl an Aspekten enthalten, die sich auf mehr als eine Einflusssphäre beziehen.<sup>16</sup> Zwei Hauptkomponenten sprechen Aspekte aus allen drei Einflusssphären an, vier Hauptkomponenten verbinden die Einflusssphären Fahrzeug und Unternehmen und eine Hauptkomponente beinhaltet ausschließlich fahrzeugseitige Aspekte.

#### 9.2.4 Reflexion der Determinanten nach Dimensionsreduktion durch Hauptkomponentenanalyse

An dieser Stelle werden die in den Hauptkomponenten enthaltenen Verflechtungen von umfeldspezifischen, unternehmensspezifischen und fahrzeugspezifischen Einflussfaktoren näher beschrieben, beginnend mit den **drei Treiber-Faktoren** F2, F4 und F5 (siehe auch Fig. 27):

- F2 adressiert vor allem „weiche“ Vorteile des Fahrzeugkonzepts, allen voran die antizipierte gesundheitsfördernde Wirkung für die Fahrer\*innen. Die positive Wirkung für das Firmen-Image ist ebenfalls ein derartiger Vorteil und somit möglicher Teil einer Marketingstrategie. Der Spaßfaktor ist das Item mit der höchsten Ladung ohne Einschluss in diese Hauptkomponente. Bislang nicht erklärbar ist der Einschluss des Aspekts der besseren Planbarkeit von Lastenradfahrzeiten.
- Kostenvorteile bestimmen F4, insbesondere Anschaffungskosten und Wartungskosten. Die höhere Flexibilität beim Parken (und damit die unmittelbare Zielerreichung) weist ebenfalls auf einen Kostenaspekt hin, da konkrete Parkgebühren und Parksuchzeit entfallen. Verallgemeinernd könnte diese Flexibilität im Zuge der Kostenbetrachtungen auch als fahrzeugseitiges Alleinstellungsmerkmal bezeichnet werden.
- F5 aggregiert Aspekte aus allen drei Einflusssphären, denen eine besonders hohe Bedeutung in städtischen Kernräumen zukommt. Hierzu zählen die Erreichbarkeit von für Pkw gesperrten Gebieten (Umfeld), die Einbindung von Lastenrädern zur Erreichung betrieblicher Umweltschutzziele (Unternehmen) sowie die prinzipiell möglichen Fahrzeitenvorteile von Lastenrädern gegenüber konventionellen Fahrzeugen (Fahrzeug).

---

<sup>16</sup> Dies war auch zu erwarten, da das Studiendesign zur Abfrage der 23 Items zwar auf die zuvor qualitativ ermittelten Determinanten aufbaute, aber nicht zum Ziel hatte, die Abgrenzung der drei Einflusssphären im Sinne einer konfirmatorischen Faktorenanalyse nachzuweisen. Vielmehr wurden aus dem Forschungsstand zu Vor- und Nachteilen der Lastenradnutzung (darunter die Inhalte der für A-1 geführten Interviews; vgl. auch die Übersicht in Tab. 4) möglichst praxisrelevante, heterogene und empirisch messbare Aspekte ausgewählt und ihre Konfiguration und Formulierung mit dem Ziel einer guten Verständlichkeit in zwei Pretestrunden verbessert.

Weiterhin wurden **vier Hemmnis-Faktoren** (F1, F3, F6 und F7) identifiziert, die wie folgt mit den drei Einflussphären verflochten sind:

- F1 fasst die wesentlichen und unmittelbaren fahrzeugspezifischen Nachteile zusammen: Reichweite, Ladekapazität und Witterungsabhängigkeit von Lastenrädern. Diese Aspekte sind leicht sachlich zu erfassen, da Unternehmen in der Regel ihre Transportaufgaben nach Menge und Distanz gut einschätzen können und Informationen zu Reichweite und Stauraum der Fahrzeuge leicht verfügbar sind. Ebenso ist es eine offensichtliche Eigenschaft von Fahrrädern, exponiert gegenüber Wettereinflüssen zu sein. F1 gruppiert also betreffende Aspekte des Fahrzeugs, die aus Sicht der Entscheider\*innen recht klar und objektiv einer Nutzung im Wege stehen.
- Demgegenüber spielen bei F3 – „Sorgen und Bedenken“ – subjektive Bewertungen eine größere Rolle. Es geht hier um die Einschätzung von Risiken, die schwerer quantifizierbar sind. Dazu gehören die höhere Diebstahlgefahr bei Lastenrädern und die Sorge, dass das Transportgut beschädigt werden könnte. Des Weiteren werden hier Vorbehalte hinsichtlich großem organisatorischem Aufwand und hohen Transformationskosten angesprochen. Dieser Faktor zeigt das Wechselspiel von schwer greifbaren Fahrzeugeigenschaften und ihrer Bewertung durch unternehmerische Entscheider\*innen.
- Wie eben deutlich wurde, haben die subjektiven Einstellungen und eigenen Vorerfahrungen der Entscheider\*innen einen hohen Einfluss bei der Fahrzeugwahl. Sie vermitteln zwischen Organisation und Lastenradfahrenden. In F6 spielen diese Interaktionen und darauf bezogene Erwägungen eine Rolle. Fehlende Akzeptanz durch die Mitarbeitenden ist das Item mit der höchsten Faktorladung. Die (ggf. auch nur antizipierten) Bedenken auf Seiten der Belegschaft führen dazu, dass manche Entscheider\*innen den Lastenradeinsatz für nicht „vermittelbar“ halten.<sup>17</sup> Auch die ungewohnte Fahrzeughandhabung passt in dieses Schema. Sinnlogisch (d.h. mit umgekehrten Vorzeichen) enthält diese Hauptkomponente auch den potenziellen Treiber „Die Nutzung von Lastenrädern macht den Mitarbeitern Spaß“.
- F7 enthält negative Aspekte hinsichtlich der verkehrlichen und technischen Infrastruktur. Mit schlechter Fahrradinfrastruktur ist konkret ein umfeldspezifischer Einflussfaktor adressiert. Daneben wird die Wahrnehmung von Gefährdung im Straßenverkehr angesprochen, welche auch den subjektiven Einstellungen der Entscheider\*innen und damit der Unternehmensebene zugeordnet werden kann. Das im Vergleich zu verbrennungsmotorischen Fahrzeugen fehlende bis lückenhafte Service-Netzwerk wiederum kann (auch) als produktspezifische Determinante gesehen werden.

### 9.2.5 Bedingte Aussagekraft zur Wirkstärke von Treibern und Hemmnissen

Der Forschungsbeitrag B, konkret Fachartikel B-2, bietet mit den „factor scores“ (siehe Kap. 7.3.2, Kap. 7.4.2. und im Ergebnis Fig. 27) einen über alle Items einer Hauptkomponente gemittelten Wert

---

<sup>17</sup> Diese Aussage bezieht sich nicht auf die Kurierbranche, wo Kurier\*innen wie in Forschungsbeitrag A beschrieben i.d.R. als Einzelunternehmer\*innen auftreten, sondern auf die in vielen Branchen übliche betriebliche Organisation mit Angestellten.

der Wichtigkeitswahrnehmung und damit eine erste Quantifizierung, die allerdings auch Limitationen aufweist.

Die Wahrnehmung der Vorteile des Lastenrads ist sehr stark und liegt – aggregiert auf die jeweilige Hauptkomponente – zwischen 4,1 und 4,4 von 5 Punkten auf der Likert-Skala. Die Hemmnisse werden nur als mäßig empfunden, am stärksten die infrastrukturellen Einschränkungen mit 3,0 und am schwächsten die mögliche Barriere Fahrer\*in mit 2,2 von 5 Punkten. Die Ergebnisse der „factor scores“ müssen als nur bedingt geeignet für repräsentative Aussagen angesehen werden, da eine offensichtliche Stichprobenverzerrung gegenüber dem Durchschnitt der deutschen Unternehmenslandschaft vorliegt. Die Hauptkomponentenanalyse basiert auf Daten der ex-ante Befragung von 389 Betrieben und Einzelunternehmer\*innen, öffentlichen Einrichtungen und NGOs, welche ihr Interesse an der Teilnahme an einem mehrmonatigen (wenngleich stark geförderten) Lastenradtest geäußert hatten (Projekt „Ich entlaste Städte“). Die Stichprobe beinhaltet also bereits hinsichtlich ihrer Fuhrparkgestaltung umstrukturierungswillige und experimentierfreudige Organisationen bzw. Unternehmer\*innen. Fällt der Blick auf diese Zielgruppe, sind die Ergebnisse der „factor scores“ valide. Sie zeigten, dass vorrangig Hemmnisse weiter abgebaut werden (da die Treiber bereits wirken), insbesondere solche, die nach dem Feldversuch stärker als zuvor eingeschätzt werden (vgl. Gruber 2020).

Der Forschungsbeitrag B erhebt nicht den Anspruch, die stärksten Treiber (Erfolgsfaktoren) und die stärksten Hemmnisse (Show-Stopper) für die gewerbliche Lastenradnutzung allgemein zu identifizieren, sondern will beschreiben, welcherlei Faktoren überhaupt vorliegen und wie diese zusammenhängen. Nach der Komplexitätsreduktion der Hauptkomponentenanalyse steht zudem ein Framework für weitere aufwandseffiziente Akzeptanz- und Adoptionsuntersuchungen zur Verfügung.

### **9.3 Verkehrliche Eignung im Vergleich zu konventionellen Fahrzeugen** **(Forschungsbeitrag C)**

Die Teilfragestellung zum Forschungsbeitrag C lautet äquivalent wie im Fachartikel C (vgl. Kap. 8.1): *Wie groß sind die Fahrtzeitenunterschiede zwischen Lastenrädern und konventionellen Lieferfahrzeugen – und welche Faktoren beeinflussen diese?*

Eine Diskussion dieser Fragestellung findet bereits im Fachartikel C statt, siehe Kap. 8.9. Im Kontext dieser Dissertation liegt nachfolgend das Augenmerk noch einmal auf dem Aspekt der verkehrlichen Eignung. Hierfür werden zunächst die erzielten Ergebnisse und ihre Datenbasis reflektiert (9.3.1), und daraufhin mithilfe einer zusätzlichen Berücksichtigung der Parksuchzeit praxisrelevant ergänzt (9.3.2). Die ermittelten Determinanten der Fahrtzeitenunterschiede werden abschließend mit anderen Befunden der Gesamtarbeit in Bezug gesetzt (9.3.3).

#### **9.3.1 Reflexion der ermittelten Fahrtzeitenunterschiede in der vorliegenden Datenbasis**

Entsprechend der in Kap. 3 und Kap. 8.1 aufgezeigten Begründung werden zur Bewertung dieses unbestritten wichtigen Aspekts der verkehrlichen Eignung im gewerblichen Kontext die Fahrtzeitenunterschiede zu konventionellen Fahrzeugen als Proxy herangezogen.

Bei Strecken bis zu 3 km sind Lastenräder und Pkw nahezu gleich schnell (präziser: haben die gleiche Fahrtzeit), erst ab 5 km ist das Auto häufiger deutlich schneller (früher am Ziel). Es konnte gezeigt werden, wie sich die Fahrtzeitenunterschiede zwischen Lastenrad und Auto verändern, wenn andere Verkehrsbedingungen vorliegen, etwa aufgrund von Stau oder Verkehrsberuhigung. Kombiniert man die drei in Fig. 26 dargestellten Verteilungen (Sample, Autokurier-Datensatz und Stau-Szenario), kann übergreifend geschlossen werden, dass die Hälfte der Fahrten (bis 20 km Fahrtweite) bei einem Wechsel vom konventionellen Fahrzeug zum Lastenrad höchstens 2 – 10 min länger dauern würden.

Da sich zum Zeitpunkt der Datenerhebung die Betriebe in der Testphase mit dem Lastenrad befanden und überwiegend über keine Vorerfahrung mit diesem Fahrzeugkonzept verfügten, erscheint es plausibel, dass im realen operativen Betrieb mit wachsender Erfahrung kürzere Fahrtzeiten zu erzielen sind. Eine Quantifizierung dieses Effekts ist allerdings nicht möglich.

Insgesamt sind die ermittelten Fahrtzeitenunterschiede ein Indiz für die verkehrliche Eignung im gewerblichen Güterverkehr, insbesondere bei kurzen, zeitkritischen Direktfahrten (z.B. Kurierdienstleistungen). Der ermittelte Fahrtzeit-Überlappungsbereich bei bis zu 3 km Fahrtweite kann demnach auch als möglicher Umkreis für die von Lastenrädern abzudeckende Fläche bei einem Mikrodepotkonzept interpretiert werden.

Die verkehrliche Eignung von Lastenrädern sollte aber nicht nur für den „Profibereich“ KEP diskutiert werden, vielmehr zeigt sich das Fahrzeugkonzept auch geeignet in der Breite des städtischen Wirtschaftsverkehrs, also für diverse Gütertransporte und den Personenwirtschaftsverkehr: Die empirische Datenbasis weist eine große Heterogenität unter den Betrieben aus, was sich in der Stichprobe der 84 Unternehmen und Einrichtungen im Fachartikel C (siehe Kap. 8.4) und in noch größerem Maße bei den Teilnehmern am dahinterstehenden Feldversuch insgesamt widerspiegelt (siehe Fig. 5).

Die Fahrtweitenverteilung der untersuchten Wege kann als weitgehend repräsentativ für den deutschen Wirtschaftsverkehr bis 20 km Fahrtweite gelten, basierend auf dem in Fig. 20 dargestellten Vergleich der Stichprobe mit der repräsentativen Verkehrserhebung KiD 2010. Beide Profile weichen nicht systematisch voneinander ab.

### **9.3.2 Berücksichtigung der Parksuchzeit**

Hilfreich bei der Einordnung der gezeigten Ergebnisse ist auch die Tatsache, dass in dieser Analyse keine zusätzlichen Zeiten zu den simulierten Pkw-Vergleichsfahrten addiert wurden, etwa für die Parkplatzsuche oder den Fußweg vom Parkplatz zum Zielpunkt. Rechnerisch konnte damit ein wesentlicher verkehrlicher Vorteil von E-Lastenrädern nicht berücksichtigt werden: Die direkte und legale Erreichbarkeit des Zielpunkts ohne Parkplatzsuche. Legal insofern, als Lastenräder auf Gehwegen abgestellt werden dürfen, wenn keine Behinderung der Fußgänger vorliegt (Gruber et al. 2016:75). Die in Fig. 26 dargestellten S-Kurven der Fahrtzeitenunterschiede zwischen Lastenrad und Pkw sind also noch um die Zeiten für Parkplatzsuche und Fußwege zugunsten des Lastenrads zu korrigieren. Unternehmen ist es mithilfe der Forschungsergebnisse und mit Blick auf ihre eigene Parksituation möglich, sich individuell einzuordnen. In einer Erhebung aus dem Jahr 2017 wurden

Suchzeiten für Parkplätze am Straßenrand in zehn der elf größten Städte Deutschlands ermittelt (Leipzig fehlt); diese lagen bei 7 – 10 min und im Mittel bei 8,6 min (INRIX 2017).

Während im eigenen Forschungsbeitrag die Fahrtzeiten betrachtet wurden, untersuchte Fischhaber (2016) bei der Evaluation des Münchner Lastenrad-Testprogramms den Geschwindigkeitsunterschied zwischen Lastenrad und Kfz. Dieser ähnelt dem Fahrtzeitenunterschied, ist aber aufgrund abweichender Fahrtweiten nicht identisch. Auch Fischhaber griff auf simulierte Kfz-Fahrten zurück, um die Fahrtgeschwindigkeiten den real gemessenen Lastenradfahrten gegenüberzustellen. Zusätzlich wurde zu den Pkw-Zeiten eine fünfminütige Parksuchzeit addiert. Die folgende den Forschungsbeitrag ergänzende Tab. 23 zeigt daher die Durchschnittsgeschwindigkeiten aus der Münchner Studie im Vergleich zur Stichprobe aus Fachartikel C – ohne und mit analog addierten 5 min für die Parksuchzeit.

*Tab. 23 Durchschnittsgeschwindigkeiten von Lastenrädern gegenüber simulierten Pkw-Fahrten*

	<b>Lastenrad (km/h)</b>	<b>Pkw (km/h)</b>	<b>Pkw + 5 min Parksuchzeit (km/h)</b>
Fischhaber 2016, Messreihe Sommer (n=312)	12	25	17
Fischhaber 2016, Messreihe Herbst (n=121)	10	22	15
Sample des Fachartikels C (n=1.421)	16,1	27,6	19,8

In der eigenen Untersuchung sind die ermittelten Lastenradgeschwindigkeiten etwas höher als bei Fischhaber, der Vergleich der verschiedenen Modi zueinander kann hingegen als ähnlich angesehen werden: Der Geschwindigkeitsvorteil der Pkw sinkt bei Berücksichtigung einer fünfminütigen Parksuchzeit beträchtlich, im eigenen Sample von 71 auf 23 %, bei Fischhaber (2016) von 111 auf 44 % (die beiden Messreihen wurden hierbei gewichtet aggregiert).

### **9.3.3 Erklärungsansätze der Fahrtzeitenunterschiede im Kontext der anderen Forschungsbeiträge**

Die Ergebnisse der Modellschätzung der Fahrtzeitenunterschiede zwischen Lastenrad und Pkw (siehe Tab. 21) zeigen Einflussfaktoren, die sich in räumlich-kontextuelle, zeitliche, fahrzeugseitige und situativ-fahrtspezifische Variablen gruppieren lassen. Daneben kann der geschätzte Wert der Konstante ( $\beta_{\text{CON}}$  in Tab. 20) als „eingebaute“ Überlegenheit des Autos gegenüber dem Lastenrad in Höhe von 2,3 min je Fahrt interpretiert werden.

Die erste Gruppe der räumlich-kontextuellen, also umfeldspezifischen Variablen ergänzt in sinnlogischer Weise die im Fachbeitrag B erarbeiteten Erkenntnisse (vgl. Kap. 6.5.2): Die Fahrtdistanz (hier als räumliche Variable definiert) ist der für den Modus Pkw förderlichste Einflussfaktor. Jeder Kilometer mehr gibt dem Auto einen Vorteil von 1,7 min. Weitere signifikante räumliche Faktoren waren die Kfz-Dichte (je höher, desto nachteiliger für die Pkw-Fahrtzeiten) sowie die Topographie, welche Lastenräder benachteiligt. Allerdings ist die Stärke dieses Effekts mithilfe eines Elektroantriebs nahezu auflösbar. Ferner konnte die für Lastenräder förderliche Wirkung guter Radverkehrsinfrastruktur und distanzminimierender Verkehrsführung (z.B. durch Parks oder freigegebene Einbahnstraßen) nachgewiesen werden.

Hinsichtlich der zeitlichen Variablen konnte ein Vorteil für Lastenräder in den Hauptverkehrszeiten festgestellt werden. Dieser beläuft sich im morgendlichen Berufsverkehr konkret auf 1,3 min je Fahrt.

Fahrzeugseitig wurden zweirädrige im Gegensatz zu dreirädrigen Lastenrädern als deutlich wettbewerbsfähiger gegenüber Pkw geschätzt. Dies entspricht auch der Charakterisierung von Brost et al. (2019), siehe Tab. 2. Schnelle Motorisierungen bis 45 km/h ermöglichen weitere Zeitvorteile für das Lastenrad, verursachen aber auch den Verlust der Vorteile der rechtlichen Gleichstellung als Fahrrad.

Einflüsse von fahrtspezifischen Variablen wie Wetter, Wegezweck oder Füllgrad der Transportkiste konnten bei dieser Auswertung nicht belastbar nachgewiesen werden. Dies ist insofern bemerkenswert, als Aspekte wie Wetterabhängigkeit oder Zuladekapazität durchaus als Hemmnisse für gewerbliche Lastenradnutzung genannt werden (siehe Literaturübersicht in Tab. 4 und eigene Ergebnisse, etwa in Kap. 6.6.3 und 6.7.1) – Hemmnisse, die wohl hinsichtlich Kauf- und allgemeiner Nutzungsentscheidung gelten, dann aber bei der Nutzung selbst keinen signifikanten Nachteil in puncto Geschwindigkeit und Fahrtzeit darstellen.

## **9.4 Übergreifende Betrachtung der Forschungsbeiträge**

### **9.4.1 Grundsätzliche Machbarkeit des Einsatzes von Lastenrädern im städtischen Wirtschaftsverkehr**

Was den Einsatz von E-Lastenrädern im städtischen Wirtschaftsverkehr betrifft, so hat die vorliegende Arbeit eine grundsätzliche Machbarkeit gezeigt. Sie sind *konzeptionell* eine Option für diverse Einsatzfelder und werden von Nutzenden ebenso wie von Akteuren, die selbst voraussichtlich auch zukünftig nicht zu den Nutzenden gehören, weitgehend als sinnvoll erachtet. Aus *verkehrlicher* Sicht sind derzeit Fahrzeittennachteile zum Pkw gegeben, diese sind aber nicht uneinholbar. Die offensichtlichen umweltpolitischen Potenziale liegen im Auflösen von bisherigen (verbrennungsmotorisch dominierten) Systemen durch Verkehrsverlagerung. Der Blick auf die Ökonomie zeigt, dass E-Lastenräder zumindest in spezifischen Kontexten *wirtschaftlich* tragfähig einsetzbar sind.

Der Grad der Ausschöpfung der Einsatzpotenziale von Lastenrädern im städtischen Wirtschaftsverkehr ist das Ergebnis eines Kräfteparallelogramms aus Treibern und Hemmnissen, das Lastenräder als „neues altes“ Fahrzeugkonzept in Relation zu konventionellen und etablierten Fahrzeugkonzepten positioniert. Die Bewertung von Lastenrädern ist darüber hinaus kontextspezifisch und kann von individuellen Entscheidungsträger\*innen – wie z.B. der Pionier-Nutzergruppe der Fahrradkurier\*innen – maßgeblich geprägt werden.

Zwar legt das komplexe Geflecht an wirksamen Determinanten die Vermutung nahe, dass es nicht einen oder mehrere klare „Show-Stopper“ gibt, die einer deutlich schnelleren Lastenradverbreitung im Wege stehen. Im weiteren Sinne können in dieser Hinsicht aber die derzeit günstigen Rahmenbedingungen für konventionelle Dieselfahrzeuge aufgeführt werden, d.h. die geringen Kosten für Anschaffung und Unterhalt bei großer Flexibilität, wenigen regulativen Einschränkungen

(wie punktuellen Fahrverboten) und einem hohen Servicelevel. Demgegenüber zeigt sich, dass viele der Lastenrad-Treiber räumlich oder situativ begrenzt und nicht großflächig wirksam sind. So hat es das untersuchte Fahrzeugkonzept verhältnismäßig schwer, Nutzer\*innen von sehr etablierten Fahrzeugklassen wie Pkw und Transportern (oder auch dem herkömmlichen Fahrrad im Kuriergeschäft) abzuwerben – „pull“ –, wenn gleichzeitig auf andere Fahrzeugkonzepte von innen heraus derzeit nur geringe bis moderate Abwanderungskräfte – „push“ – wirken.

Wenngleich die Bedingungen für etablierte Fahrzeugklassen wie Pkw oder Transporter derzeit noch (zu) positiv sind, so zeigt die Arbeit auch, dass der Wettbewerbsnachteil von Lastenrädern nicht uneinholbar ist. So sind beispielsweise die konkreten Fahrzeitenunterschiede zwischen Lastenrädern und Pkw und ihre Determinanten ein für mögliche verkehrspolitische Entscheidungen sehr beachtenswerter Befund, da bereits kleine Änderungen an den noch bestehenden Fahrzeitenvorteilen der Konventionellen bereits zu einem substanziellen Effekt führen. Eine sich verschlechternde Verkehrssituation für Pkw (etwa durch zunehmende Staubbelastung oder Maßnahmen wie die konsequentere Ahndung von Zweite-Reihe-Parken, vorgesehen in der StVO-Novelle 2020) könnte die Wettbewerbsverhältnisse im städtischen Wirtschaftsverkehr bereits mittelfristig umkehren. Im Rahmen von privaten und öffentlichen Nachhaltigkeitsinitiativen dürften die derzeit noch bestehenden zeitlichen Mehraufwände auf der letzten Meile zunächst vertretbar erscheinen und ihr weiterer Abbau befürwortet werden.

Von einigen der im Forschungsstand skizzierten Dynamiken im städtischen Wirtschaftsverkehr (Kap. 2.1.2) wie der Verkleinerung der Sendungsstruktur und der zunehmenden Zeitfensterzustellung können kleinere Fahrzeugkonzepte wie das E-Lastenrad vor dem Hintergrund der präsentierten Ergebnisse profitieren. Überlagert werden diese positiven Tendenzen allerdings von dem gigantischen Mengengerüst der „Standard-Paketzustellung“. In diesem Massenmarkt können Lastenräder bei den derzeitigen Rahmenbedingungen nur begrenzt wirtschaftlich eingesetzt werden, etwa an stauanfälligen oder zugangsbeschränkten Orten oder im Zusammenspiel mit Mikrodepots. Die vorliegenden Anforderungen bei der Paketzustellung erfordern eine sehr großskalige Transformation. Diese kann jedoch in einzelnen Branchen (z.B. Handwerkerfahrten) bereits jetzt aussichtsreich angebahnt werden.

In der wirtschaftlichen Bewertung des Fahrzeugkonzepts E-Lastenrad zeigen sich Widersprüchlichkeiten. So liegen im Falle einer 1:1-Substitution eines konventionellen verbrennungsmotorischen Lieferfahrzeugs die Gesamtbetriebskosten (TCO) für E-Lastenräder in der Regel niedriger. Allerdings bringt die Flottenumstellung Transformationskosten mit sich. In der Realität würde ein E-Lastenrad meist zunächst als zusätzliches Fahrzeug in die Flotte aufgenommen werden, da ein Lastenrad aufgrund der offensichtlichen Limitationen bei Zuladung und Reichweite nicht 1:1 das leisten kann, was Pkw oder Lkw leisten können. Zumindest solange einem Unternehmen noch Erfahrungswerte mit der Lastenradnutzung fehlen, dient das verbrennungsmotorische Fahrzeug als Sicherheit, um alle Transportaufgaben ausführen zu können.<sup>18</sup> Darüber hinaus gibt es nur wenige

---

<sup>18</sup> Eine vergleichbare Sicherheit schaffen einige Hersteller von Elektroautos für ihre Kunden: VW übernimmt bspw. im Programm „Ergänzungsmobilität“ zwei Jahre die Kosten eines verbrennungsmotorischen Leihwagens



Anreize, ein konventionelles Flottenfahrzeug vor dem Ende seines Lebenszyklus abzuschaffen. Die Integration des Lastenrads in eine Flotte führt zu weiteren Kosten, da neue Prozesse initiiert und verbessert werden müssen, Personal geschult oder ggf. eingestellt werden muss, die nächtliche Unterbringung und Aufladung der E-Lastenräder sowie ihre Wartung und Reparatur organisiert werden müssen.

Die weitere Diffusion von Lastenrädern im städtischen Wirtschaftsverkehr ist also sicherlich kein Automatismus. Im Ergebnis dieser Arbeit erscheint ihre gewerbliche Nutzung dennoch für fast alle Branchen und Einsatzzwecke im urbanen Umfeld zumindest perspektivisch machbar; daher ist betriebsindividuell prüfenswert, wie die Handlungsspielräume und positiven Effekte von E-Lastenrädern flankiert von größeren elektromotorischen Fahrzeugkonzepten und intelligenten Logistikkonzepten bestmöglich ausgeschöpft werden können.

#### **9.4.2 Anknüpfungspunkte für weitere Forschung**

Diese Arbeit sollte nicht und kann auch nicht die Frage beantworten, in welchem Ausmaß Lastenräder zukünftig anstelle von Pkw und Lkw im Wirtschaftsverkehr eingesetzt werden (können) und ab welchem Diffusionsgrad eine Sättigung einträte, die die weitere Verbreitung von Lastenrädern verlangsamen oder stoppen würde. Ebenso wenig soll die Arbeit aufzeigen, welche politischen Maßnahmen zur Erhöhung der gewerblichen Lastenradnutzung in welcher Weise wirksam werden könnten. Allerdings kann die Studie als Grundlage für eine integrierte Betrachtung dieser beiden Stränge dienen, also der Prognostik der Ausschöpfung des Einsatzpotenzials von Lastenrädern im städtischen Wirtschaftsverkehr in Verbindung mit potenziellen staatlichen Anreizen wie einer Kaufprämie und dem Abbau der beschriebenen Nutzungsnachteile.

Auch die Umweltwirkungen von Lastenrädern im Wirtschaftsverkehr sind in dieser Arbeit kein explizites Thema. Ein Umstieg auf das Fahrzeugkonzept E-Lastenrad wird als umweltpolitisch sinnvoll erachtet, die Forschungslage hierzu ist jedoch relativ dünn. Genauere Untersuchungen hinsichtlich der Emissionen im Sinne eines Life-Cycle-Assessments oder einer Well-to-Wheel-Betrachtung fehlen. Ähnliches gilt für die Frage nach der (potenziell verringerten) Effizienz des Verkehrssystems bei einer Verlagerung von 10 – 20 % der Fahrten im städtischen Wirtschaftsverkehr oder noch mehr, bspw. durch Staueffekte zum Nachteil von konventionellen Fahrzeugen. Für die optimale Zielgröße der Potenzialausschöpfung sollte daher mit Blick auf Effizienz und Emissionen des Verkehrssystems auch ein sinnvoller Maximalwert des Lastenradanteils abgeschätzt werden (vgl. Melo & Baptista 2017).

Die Arbeit zeigt erste individuelle Präferenzen im Kontext unternehmerischer Fahrzeugwahlentscheidungen, kann die Wirkung des Spannungsfelds zwischen Organisation, Entscheider\*innen und Lastenradnutzenden aber in dieser Ausgestaltung nur begrenzt aufdecken. Es

---

für Käufer eines elektrischen Neufahrzeugs für bis zu 30 Tage im Jahr (VW 2020).

bieten sich hier gute Anknüpfungspunkte für komplementäre Untersuchungen aus organisationssoziologischer Sicht.

Lohnenswert könnte es auch sein, stärker aus psychologischer Sicht auf das Individuum einzugehen, ausgehend etwa von der konkret ermittelten Diskrepanz zwischen dem Anteil von 40 % „Lastenrad-Rejecters“ (in der untersuchten Gruppe der Kurier\*innen) und dem gleichzeitig hohen Wert der Potenzialzuschreibung (86 %). Während aus objektiver Sicht eine Nutzung für sinnvoll erachtet wurde, kommt diese für viele persönlich nicht in Frage. Die hier wirkenden Verharrungstendenzen erscheinen auch vor dem Hintergrund anderer Erfahrungen beim Wandel zu umweltfreundlichen Modi nicht ungewöhnlich – man muss also auch hier von einem langsamen und schrittweisen Verhaltenswandel ausgehen (vgl. Savan et al. 2017).

Jenseits der individuellen Betrachtungsebene bieten praxistheoretische Zugänge ein fruchtbares Analyseraster, etwa das anwendungsorientierte Modell von Shove et al. (2012). Praktiken konstituieren sich demnach in den drei Elementen „materials“, „meanings“ und „competences“. Neue Objekte wie z.B. E-Lastenräder können bestehende Praktiken verändern. In einer zum Teil am DLR-Institut für Verkehrsforschung entstandenen Masterarbeit (Remke 2019) wurde dieses Modell bereits konkret auf die Lastenradnutzung im städtischen Wirtschaftsverkehr angewendet. In der Literatur wird dieses Schema darüber hinaus bei der Untersuchung von Mobilitätspraktiken wie dem Fahrradfahren (Spotswood et al. 2015, Larsen 2016) oder dem Elektroauto-Fahren in Norwegen (Ryghaug & Toftaker 2014) genutzt.

Auch mit den weiteren Auswertungen der im Feldversuch erhobenen Daten (laufende Arbeit im Projekt „Ich entlaste Städte“) verbindet sich die Hoffnung zur Schließung weiterer Erkenntnislücken, v.a. hinsichtlich der Determinanten der fahrtspezifischen Verkehrsmittelwahlentscheidung Lastenrad vs. Pkw und der langfristigen Lastenrad-Kaufentscheidung. Ebenso ermöglicht eine weitergehende longitudinale Analyse der Wahrnehmungsveränderung von Treibern und Hemmnissen vor dem Hintergrund eigener Testerfahrung relevante Rückschlüsse für die weitere politische Förderung, da sie über- und unterschätzte Aspekte aufdeckt.

Bei der Nutzung der Daten fiel ein offensichtlicher und leicht behebbarer Mangel auf: Lastenräder oder generell elektrische Leichtfahrzeugkonzepte (SEV) sollten künftig bei empirischen Erhebungen mit Fokus auf den städtischen Wirtschaftsverkehr als eigene Kategorie ausgewiesen werden, ähnlich wie es bereits bei einer Erhebung im Großraum Paris geschehen ist (Patier et al. 2014). Während das Fahrrad bei der Verkehrsmittelwahl im Personenverkehr eine etablierte Alternative darstellt, spielt es in der Güterverkehrsmodellierung keine Rolle. Die Betrachtung des Entscheidungsverhaltens zu kleineren Fahrzeugkonzepten als Lkw ist unüblich. Diese Arbeit zeigt, dass E-Lastenräder im städtischen Wirtschaftsverkehr als bedingt wettbewerbsfähig zu konventionellen Fahrzeugen betrachtet werden können. Es wäre daher begrüßenswert, wenn diese Fahrzeugklasse oder allgemein SEV auch in anderen Arbeiten Berücksichtigung finden, die sich mit gewerblicher Fahrzeug-, Fahrzeugklassen- oder Modalwahl befassen.

### 9.4.3 Fachliche Einordnung

Diese Arbeit bietet eine Systematisierung der Einflussfaktoren gewerblicher Lastenradnutzung sowie eine konkrete Machbarkeitsanalyse anhand von realen Nutzungsansätzen, die unter Verknüpfung von qualitativen und quantitativen Methoden erfasst und ausgewertet wurden. Damit erweitert die Dissertation erheblich das Wissen zu einem „neuen alten“ Fahrzeugkonzept, das von Politik und Praxis als Alternative im städtischen Wirtschaftsverkehr gehandelt wird und dem ein Potenzial zur Auflösung von bislang auf das Automobil hin ausgerichteten Systemen beigemessen wird.

Mit ihrem differenzierten Blick hält die vorliegende Arbeit dem von Kagermeier (1999) skizzierten Generalvorwurf an die Verkehrsgeographie als Ermöglicher einer verkehrspolitisch gefärbten Verkehrsgestaltung stand, auch wenn sie selbst aus politisch geförderten Projekten und Feldversuchen heraus entstanden ist.

Zum Wissenschaftsverständnis dieser Arbeit ist die in Kagermeier (1999) angeregte Sichtweise einer „problemorientierten Forschung“ (vgl. auch Bechmann & Frederichs 1996) angebracht, bei der theoretische und angewandte Fragestellungen problembezogen neu kombiniert werden. Diese Forschung bietet auch Umsetzungselemente und Elemente der Politikberatung und kann damit zur Beantwortung gesellschaftlicher Herausforderungen beitragen. Die durch den städtischen Wirtschaftsverkehr verursachten Probleme können zweifelsfrei als eine dieser gesellschaftlichen Herausforderungen gesehen werden.

Verkehrsverhalten zu verändern ist anhaltend schwierig, simple Generallösungen zur Befriedigung aller Zielvektoren kann es nicht geben. Hesse sieht aber dennoch auch den Erfolg im Kleinen: „Auch umfassende Ansätze müssen kleingebrochen werden in handhabbare Schritte der Forschung, der experimentellen Erprobung, Bewertung und Verallgemeinerung von Alternativen“ (Hesse 2018:17). Viele Einzelansätze seien bislang als Hinweise in die richtige Richtung zu sehen. Entsprechend der Erkenntnisse dieser Arbeit kann die Nutzung von E-Lastenrädern im städtischen Wirtschaftsverkehr in diese Reihe eingeordnet werden. Hier schließt sich auch der Kreis zum Schema der Motorenttransition von Dablanc & Rodrigue (2017) in Fig. 1: Die gewerbliche Lastenradnutzung kann als Pulsgeber auf dem Weg zur Zielstufe IV, der „Green Logistics City“ dienen.

## 10 Schlussfolgerungen und Ausblick

Es gibt **konkrete Einsatzpotenziale** für E-Lastenräder im städtischen Wirtschaftsverkehr. Die gewerbliche Nutzung dieses Fahrzeugkonzepts ist **an vielen Orten und in diversen gewerblichen Kontexten machbar** und wird in Ansätzen bereits umgesetzt. Diese Nutzungsansätze sind der verkehrsgeographischen Analyse zugänglich und zeigen, dass es sich bei der gewerblichen Fahrradnutzung um kein rein hypothetisches, funktionsuntüchtiges oder gar weltfremdes Konstrukt handelt.

Neben der **Kurier- und Paketbranche** ist insbesondere auch der **Personenwirtschaftsverkehr** zu nennen. Möglicherweise kann eine Etablierung des Lastenrads sogar besonders in solchen Branchen stattfinden, in denen der **Transport von Gütern zwar wichtig, aber nicht Teil des Kerngeschäfts** ist, etwa im Bereich der Handwerkerfahrten. Für reine Transportdienstleistungen sind die bestehenden Systeme hochgradig (und ggf. zu stark) auf konventionelle Fahrzeugkonzepte wie Dieseltransporter der „Sprinter-Klasse“ hin optimiert.

Der Erfolg von Lastenrädern hängt von einem **komplexen Zusammenspiel verschiedener Faktoren** ab. Ein erstaunlich hoher Anteil der identifizierten Faktoren **hängt dabei von der Politik ab**. Auch wenn das Lastenrad wie gezeigt eine machbare Alternative darstellt, so muss es doch auch von politischer Seite gewollt sein, diese Alternative noch stärker zu positionieren.

Wie generell beim Eintritt eines neuen Wettbewerbers – hier: eines durch Elektrifizierung erneuertes Fahrzeugkonzepts – zählt nicht nur die Einzelbetrachtung, sondern auch das **Wechselspiel mit den etablierten Marktteilnehmern**, also den aktuell verwendeten Fahrzeugen. Hier sind vor allem die **bestehenden Regelungen** zu betrachten: Sind diese für neue und alte Wettbewerber gleich oder unterschiedlich? Liegen strukturelle Vorteile für die konventionellen Lösungen vor oder wird die Transformation zum Neuen durch falsche Anreize blockiert? Solche Überlegungen verbessern die Einschätzungen zur Konkurrenzfähigkeit von Lastenrädern im städtischen Wirtschaftsverkehr.

Unabhängig aber vom Vergleich der den Wettbewerbern gesetzten Regelungen muss selbst ceteris paribus die **Transformationsreibung** beachtet werden, die gewerbliche Nutzer\*innen beim Umstieg auf Lastenräder erfahren. Wandel kann mühsam sein, denn Erfahrung zu sammeln kostet und der Verzicht auf habitualisierten Komfort und gewohnte Praktiken kann schmerzen.

Während weitere **Innovationen** und die **technische Reifung** des Fahrzeugkonzepts wichtig und notwendig sind (v.a. für belastende Nutzungen wie in der Paketbranche), legt die vorgelegte **Analyse der Treiber und Hemmnisse** allerdings auch nahe, dass sich der Diskurs zur Bewertung von Lastenrädern bislang zu stark auf die mit „Liter Stauraum“ oder „Kilometer Reichweite“ quantifizierbaren Produkteigenschaften konzentrierte. **Wirksam sind allerdings auch andere Determinanten** wie weiche Faktoren, operative Aspekte, räumlicher Kontext, Einstellungen der Entscheider\*innen und ihre Interaktion mit den Lastenradnutzenden.

Die **räumlich wirksamen Eigenschaften** der Lastenradnutzung – sowohl positive wie die unmittelbare Erreichbarkeit von Zielorten, aber auch negative wie die begrenzte Reichweite und

Zuladung – **präzisieren Orte**, wo eine Verkehrsentslastung **von besonderem wohlfahrtsökonomischen Nutzen** ist, nämlich staubelastete Innenstadtzentren, deren Luftqualität und Attraktivität auch durch den Wirtschaftsverkehr zunehmend in Mitleidenschaft gezogen werden. Lastenräder substituieren zwar derzeit und wohl auch mittelfristig keine klimawirksamen Mengen an konventioneller Fahrleistung, aber zu einem hohen Anteil Fahrten von Dieselfahrzeugen mit hohen Emissionsfaktoren im urbanen Stop-and-Go Verkehr, sind also bereits heute und unmittelbar **hilfreich bei der Minderung von Lokalemissionen**.

Lastenräder können darüber hinaus als „Werbeträger ihrer Sache“ dienen. Sie erhalten derzeit **viel Aufmerksamkeit**, sind ein „Hingucker“ auf den Straßen. Unterstützt durch Kampagnen wie „Ich entlaste Städte“ könnten Lastenräder das **Problembewusstsein der Öffentlichkeit für die Herausforderungen im städtischen Wirtschaftsverkehr stärken** und z.B. zur Reflexion des eigenen Online-Bestellverhaltens anregen.

Die Ausweitung des Einsatzes von Lastenrädern im Wirtschaftsverkehr – der „modal shift“ oder „downshift“ von konventionellen Lieferfahrzeugen – ist dem **Maßnahmenkomplex „Verkehrsverlagerung“** zuzuordnen, wenn auch in einer untypischen Form, da der Verkehrsträger (Straße) vor und nach der Verlagerung identisch ist. Deutlich wird, dass die Verlagerung auf das **Lastenrad alleine nicht die Rettung** für den städtischen Wirtschaftsverkehr sein kann, sondern mit anderen klugen Konzepten für die letzte Meile verflochten werden muss.

Zukünftig dürften die Städte einen weiter **wachsenden Handlungsdruck** verspüren, die Ziele für **Luftqualität und Klimaschutz** zu erreichen, welche durch nationale und zunehmend auch **EU-Vorgaben** gesetzt sind. Um diesen Zielen gerecht zu werden, müssen die **Spielregeln verändert** werden. Bereits heute tragen Veränderungen der rechtlichen und wirtschaftspolitischen Rahmenbedingungen qualitativ zur **Verbesserung der Wettbewerbsfähigkeit von Lastenrädern** bei, während gleichzeitig die **Wettbewerbsvorteile von konventionellen Fahrzeugen graduell sinken**. Ob die bislang angelegten Effekte quantitativ stark genug sind, kann durch diese Arbeit nicht beantwortet werden, muss aber eher skeptisch hinterfragt werden.

Der Blick auf die gesellschaftlichen und politischen Dynamiken der letzten 10 – 20 Jahre lässt aber langfristig durchaus einen **Wandel von Konsumentenwünschen, Politikgestaltung und Unternehmenshandeln** in Richtung mehr Nachhaltigkeit im Verkehr erwarten. Es erscheint vor dem Hintergrund knapper Ressourcen plausibel, dass dieser **Wandel trotz** jetzt manifestierter und auch zukünftig nicht vollständig aufgelöster – dann aber ggf. akzeptierter – **Nachteile** stattfindet. Solche Nachteile sind derzeit der gewerblichen Lastenradnutzung inhärent – sie können aber von einer sich transformierenden Gesellschaft sukzessive **anders bewertet** werden.

Und nicht zuletzt: **Nachteile und Vorbehalte können abgebaut werden**. Zumindest theoretisch absehbar sind hierbei mehrere **positive Rückkopplungsschleifen**: Die seit wenigen Jahren wachsende Verbreitung von Lastenrädern im Wirtschaftsverkehr schafft mehr Erfahrung, mehr Wissen und mehr Vertrauen, zunehmend auch bei den auf die Pioniernutzer\*innen folgenden Early Adopter. Mit wachsender Nachfrage kann auch seitens einer sich **professionalisierenden Fahrradwirtschaft** mehr

Kapital in die Weiterentwicklung und Produktion von Komponenten und Modellen investiert werden, was die Qualität der Fahrzeuge und ihre Verfügbarkeit erhöht. Damit verbunden wäre wiederum eine weiter steigende Präsenz von Lastenrädern, sowohl im Straßenraum als auch im Entscheidungsraum von Flottenverantwortlichen. Zumindest prinzipiell könnten diese sich verstärkenden Schleifen zu einer **Diffusion des Lastenrads** im Wirtschaftsverkehr **über eine kritische Masse hinaus** führen. Es ist dadurch theoretisch vorstellbar, dass mit dem dann erreichten Verbreitungsgrad das vorhandene Substitutionspotenzial von mindestens **10 – 20 % des derzeit konventionell ausgeführten Fahrtenaufkommens** im städtischen Wirtschaftsverkehr ausgeschöpft werden kann.

## 11 Gesamtliteraturverzeichnis

- ADFC (=Allgemeiner Deutscher Fahrrad Club) (2016): Fahrradklima Test 2016. Ergebnistabelle Stadtgrößengruppen. Berlin.
- Adolf, J., Balzer, C., Haase, F., Lenz, B., Lischke, A. & Knitschky, G. (2017): Shell Nutzfahrzeug-Studie. Diesel oder alternative Antriebe - womit fahren Lkw und Bus morgen? Fakten, Trends und Perspektiven bis 2040. URL: [https://www.shell.de/promos/media/shell-goods-vehicle-study/\\_jcr\\_content.stream/1466682556570/006b9c62dcca41b86d0adafc3ee2ad4fa14ef4d3/shell-nutzfahrzeugstudie.pdf](https://www.shell.de/promos/media/shell-goods-vehicle-study/_jcr_content.stream/1466682556570/006b9c62dcca41b86d0adafc3ee2ad4fa14ef4d3/shell-nutzfahrzeugstudie.pdf) (Stand: 06.07.2020).
- Ahrens, G.-A. (2010): Sonderauswertung zur Verkehrserhebung „Mobilität in Städten – SrV 2008“. Dresden.
- Ajzen, I. (1991): The theory of planned behavior. In: Organizational Behavior and Human Decision Processes, 50, 179-211.
- Akin, D., Sisiopiku, V.P. & Skabardonis, A. (2011): Impacts of Weather on Traffic Flow Characteristics of Urban Freeways in Istanbul. In: Procedia - Social and Behavioral Sciences, 16, 89-99.
- Anderluh, A., Hemmelmayr, V.C. & Nolz, P.C. (2019): Sustainable Logistics With Cargo Bikes—Methods and Applications. In: Faulin, J., Grasman, S., Juan, A. & Hirsch, P. (Hrsg.): Sustainable Transportation and Smart Logistics. Decision-Making Models and Solutions. Elsevier, 207-232.
- Arndt, W.-H. (2010): Optimierungspotenziale im Wirtschaftsverkehr durch bestellerseitige Kooperation. (Stand). Berlin.
- Arndt, W.-H. (2015): Kommunale Probleme im Wirtschaftsverkehr. In: Arndt, W.-H. (Hrsg.): Umweltverträglicher Wirtschaftsverkehr in Städten. Wer und was bringt's wirklich? Dokumentation der Fachtagung "kommunal mobil" am 18./19.6.2015 in Dessau-Roßlau. Difu-Impulse 6/2015. Berlin: Difu, 19-26.
- Arndt, W.-H., Topp, H. & Hunger, D. (2015): Funktion und Gestaltung von Haupt(verkehrs)straßen mit Schwerpunkt Innenstadt.
- Arndt, W.-H. (2018): Aktuelle Entwicklungen und Konzepte im urbanen Lieferverkehr. In: Arndt, W.-H. (Hrsg.): Lieferkonzepte in Quartieren - die letzte Meile nachhaltig gestalten - Lösungen mit Lastenrädern, Cargo Cruisern und Mikro-Hubs (=Difu Impulse 3/2018). Berlin: Deutsches Institut für Urbanistik, 5-9.
- Assmann, T., Müller, F., Bobeth, S. & Baum, L. (2019): Planung von Lastenrad-Umschlagsknoten. Ein Leitfaden für Kommunen und Wirtschaft zur Planung von Umschlagpunkten für neue, urbane Logistikkonzepte. Otto-von-Guericke Universität Magdeburg. URL: [https://www.ilm.ovgu.de/inilm\\_media/Planungsleitfaden\\_Lastenrad-p-3858.pdf](https://www.ilm.ovgu.de/inilm_media/Planungsleitfaden_Lastenrad-p-3858.pdf) (Stand: 22.01.2020).
- Barner, E. & Wood, G. (2013): D2.3 Feasibility study; screening of business to business and business to customer deliveries. URL: [http://one.cyclelogistics.eu/docs/119/d2\\_3\\_business\\_to\\_business\\_business\\_to\\_customer\\_v\\_2\\_Sept2013.pdf](http://one.cyclelogistics.eu/docs/119/d2_3_business_to_business_business_to_customer_v_2_Sept2013.pdf) (Stand: 28.05.2020).
- Bartlett, M.S. (1954): A note on the multiplying factors for various  $\chi^2$  approximations. In: Journal of the Royal Statistical Society. Series B (Methodological), 296-298.
- BASt (=Bundesanstalt für Straßenwesen) (2020): Sinnbild "Lastenfahrrad". URL: <https://www.bast.de/SharedDocs/Bilder/DE/FB-V/verkehrszeichen/Vz2017/Lastenfahrrad-zip.html;jsessionid=43EB99F32A7EA1722E657EBF006659EE.live21303?nn=1817946> (Stand: 01.07.2020).

- Baum, H. & Pesch, S. (1996): Car-Sharing als Ansatz zur Verbesserung der Verkehrsverhältnisse in Städten In: Zeitschrift für Verkehrswissenschaft, 67, 262-285.
- BBSR (German Federal Institute for Research on Building Urban Affairs and Spatial Development) (2015): Stadt- und Gemeindetyp. URL: [www.bbsr.bund.de/BBSR/DE/Raumb Beobachtung/Raumabgrenzungen/StadtGemeindetyp/download-ref-sgtyp.xlsx? blob=publicationFile&v=10](http://www.bbsr.bund.de/BBSR/DE/Raumb Beobachtung/Raumabgrenzungen/StadtGemeindetyp/download-ref-sgtyp.xlsx? blob=publicationFile&v=10) (Stand: 31.07.2018). Bonn.
- BdKEP (=Bundesverband der Kurier-Express-Post-Dienste e.V.) (2020): Diesel Fahrverbot in Städten - Die grosse BdKEP Übersicht. URL: <https://bdkep.de/bdkep-blog/diesel-fahrverbot-in-staedten-die-grosse-uebersicht-update.html#h8sjyfk5uzoov36kkc7us60fm6xek> (Stand: 15.07.2020).
- Bechmann, G. & Frederichs, G. (1996): Problemorientierte Forschung: zwischen Politik und Wissenschaft. Konzepte, Methoden, Optionen. In: Bechmann, G. (Hrsg.): Praxisfelder der Technikfolgenabschätzung. Frankfurt: Campus, 11-37.
- Beckmann, K. (2012): Güter- und Wirtschaftsverkehr in Städten und Stadtregionen – Megatrends und Konsequenzen für Handlungsstrategien und Handlungsansätze. In: Arndt, W.-H. (Hrsg.): Städtischer Wirtschaftsverkehr – Commercial/Goods Transport in Urban Areas – Transports Commerciaux/Marchandise en Ville. Dokumentation der Internationalen Konferenz 2012 in Berlin. Berlin,
- Behrensen, A. (2016): Amazon goes Cargobike – Ortstermin in Berlin. URL: <https://www.cargobike.jetzt/amazon-prime-now/> (Stand: 14.07.2020).
- Behrensen, A. & Gruber, J. (2017): Lastenrad-Bauformen und Einsatzmöglichkeiten. URL: <https://www.lastenradtest.de/testraeder/> (Stand: 26.02.2020).
- Behrensen, A. (2020): Kaufprämien Überblick für Deutschland und Österreich. URL: <https://www.cargobike.jetzt/tipps/cargobike-kaufpraemien/> (Stand: 30.06.2020).
- Ben-Akiva, M. & Lerman, S.R. (1985): Discrete Choice Analysis: Theory and Application to Travel Demand. Cambridge, MA, MIT Press.
- Bennhold, K. 2018. In Germany's Car Capital, the Unthinkable: The Right to Ban Cars. The New York Times. URL: [www.nytimes.com/2018/02/27/world/europe/diesel-driving-ban-germany-stuttgart.html](http://www.nytimes.com/2018/02/27/world/europe/diesel-driving-ban-germany-stuttgart.html) (Stand: 16.02.2019).
- Berlin Valley (2017): 50 Startups, die den Handel revolutionieren. Teil 3: First Mile und Last Mile. URL: <https://berlinvalley.com/startups-first-mile-last-mile/> (Stand: 08.07.2020).
- BIEK (=Bundesverbandes Internationaler Express- und Kurierdienste e.V.) (2013): Motor für Wirtschaftswachstum und Beschäftigung – Die Kurier-, Express- und Paketbranche in Deutschland. URL: <https://www.biek.de/download.html?getfile=138> (Stand: 21.01.2019).
- BIEK (German Courier and Express Association) (2014): Wirtschaftliche Bedeutung der KEP-Branche, KEP-Studie 2014 - Marktanalyse.
- BIEK (=Bundesverband Express- und Kurierdienste e.V.) (2015): Nachhaltige Stadtlogistik durch Kurier Express Paketdienste (Sustainable City Logistics by Courier Express Parcel Service Providers). URL: <https://biek.de/download.html?getfile=154>.
- BIEK (=Bundesverband Paket und Expresslogistik e. V.) (2018): Kompendium Teil 5: Regionale Verteilung des KEP-Sendungsvolumens. URL: <https://www.biek.de/download.html?getfile=1564> (Stand: 05.02.2020).
- BIEK (=Bundesverband Paket und Expresslogistik e. V.) (2019): KEP-Studie 2019 – Analyse des Marktes in Deutschland. Berlin.



- BIEK (=Bundesverband Paket und Expresslogistik e. V.) (2020): KEP-Studie 2020 – Analyse des Marktes in Deutschland. URL: <https://www.biek.de/download.html?getfile=2623> (Stand: 18.06.2020).
- BMU (=Bundesministerium für Umwelt, Naturschutz und Reaktorsicherheit) (2003): Nachhaltige Mobilität. Leitlinien des Bundesumweltministeriums. URL: <https://www.yumpu.com/de/document/read/21319528/nachhaltige-mobilitat-leitlinien-des-bundesumweltministeriums> (Stand: 30.06.2020).
- BMVBS (Federal Ministry of Traffic, Construction and City Development) (2012): Mobilitätsstudie „Kraftfahrzeugverkehr in Deutschland 2010“ (KID 2010). URL: [https://www.bmvi.de/SharedDocs/DE/Anlage/VerkehrUndMobilitaet/kid-2010.pdf?\\_\\_blob=publicationFile](https://www.bmvi.de/SharedDocs/DE/Anlage/VerkehrUndMobilitaet/kid-2010.pdf?__blob=publicationFile) (Stand: 21.01.2019). Braunschweig.
- BMVI (Federal Ministry of Transport and Digital Infrastructure) (2014): Verkehrsprognose 2030. URL: [www.bmvi.de/SharedDocs/DE/Anlage/VerkehrUndMobilitaet/verkehrsprognose-2030-praesentation.pdf?\\_\\_blob=publicationFile](https://www.bmvi.de/SharedDocs/DE/Anlage/VerkehrUndMobilitaet/verkehrsprognose-2030-praesentation.pdf?__blob=publicationFile) (Stand: 31.07.2018).
- BMVI (=Bundesministerium für Verkehr und digitale Infrastruktur) (2020): Wir machen den Straßenverkehr noch sicherer, klimafreundlicher und gerechter. URL: <https://www.bmvi.de/SharedDocs/DE/Artikel/K/stvo-nouvelle-streetlovestory.html> (Stand: 01.07.2020).
- BMVIT (Bundesministerium für Verkehr, Innovation und Technologie) (2012): Bau aufs Rad! Maßnahmen zur Förderung des Radverkehrs bei Hochbauvorhaben – Ein Leitfaden für ArchitektInnen, Bauträger, Länder und Gemeinden. URL: [https://www.bmvit.gv.at/service/publikationen/verkehr/fuss\\_radverkehr/downloads/bauaufsrad.pdf](https://www.bmvit.gv.at/service/publikationen/verkehr/fuss_radverkehr/downloads/bauaufsrad.pdf) (Stand: 18.9.2019).
- BMVIT (Austrian Federal Ministry for Transport, Innovation and Technology) (2016): Der Faktor Zeit im Radverkehr. URL: [www.bmvit.gv.at/service/publikationen/verkehr/fuss\\_radverkehr/downloads/radfahren\\_zeitfaktor.pdf](https://www.bmvit.gv.at/service/publikationen/verkehr/fuss_radverkehr/downloads/radfahren_zeitfaktor.pdf) (Stand: 20.07.2018). Wien.
- Böcker, L. & Thorsson, S. (2014): Integrated Weather Effects on Cycling Shares, Frequencies, and Durations in Rotterdam, the Netherlands. In: Weather, Climate, and Society, 6, 468-481.
- Bogdanski, R., Bayer, M. & Seidenkranz, M. (2017): Pilotprojekt zur Nachhaltigen Stadtlogistik durch KEP-Dienste mit dem Mikro-Depot-Konzept auf dem Gebiet der Stadt Nürnberg. URL: [https://www.c-na.de/fileadmin/templates/global/media/Pedestrics/Download/Abschlussbericht\\_Mikro-Depot-Konzept\\_Nuernberg.pdf](https://www.c-na.de/fileadmin/templates/global/media/Pedestrics/Download/Abschlussbericht_Mikro-Depot-Konzept_Nuernberg.pdf) (Stand: 9.9.2019).
- Bogdanski, R. (2019): Die Zukunft der Stadtlogistik ist nachhaltig. In: Bogdanski, R. (Hrsg.): Nachhaltige Stadtlogistik. Warum das Lastenfahrrad die Letzte Meile gewinnt. München: HUSS-VERLAG, 27-58.
- Borgstedt, S., Hecht, J. & Jurczok, F. (2017): Fahrrad-Monitor Deutschland 2017. Ergebnisse einer repräsentativen Online-Befragung. URL: [https://www.bmvi.de/SharedDocs/DE/Anlage/G/fahrradmonitor-2017-ergebnisse.pdf?\\_\\_blob=publicationFile](https://www.bmvi.de/SharedDocs/DE/Anlage/G/fahrradmonitor-2017-ergebnisse.pdf?__blob=publicationFile) (Stand: 24.07.2020).
- Borgstedt, S., Jurczok, F. & Gensheimer, T. (2019): Fahrrad-Monitor Deutschland 2019. Ergebnisse einer repräsentativen Online-Befragung. URL: [https://www.bmvi.de/SharedDocs/DE/Anlage/K/fahrradmonitor-2019-ergebnisse.pdf?\\_\\_blob=publicationFile](https://www.bmvi.de/SharedDocs/DE/Anlage/K/fahrradmonitor-2019-ergebnisse.pdf?__blob=publicationFile) (Stand: 24.07.2020).
- Borreck, M.-A., D'Inca, J. & Schambach, S. (2017): How Start-ups are Digitalizing Logistics. URL: [https://www.oliverwyman.de/content/dam/oliver-wyman/v2/publications/2017/aug/How\\_Start-ups\\_Are\\_Digitalizing\\_Logistics.pdf](https://www.oliverwyman.de/content/dam/oliver-wyman/v2/publications/2017/aug/How_Start-ups_Are_Digitalizing_Logistics.pdf) (Stand: 08.07.2020).

- Bracher, T., Hertel, M. & Klein, T. (2018): Wirtschafts- und Standortfaktor Radverkehr. In: Arndt, W.-H. & Klein, T. (Hrsg.): Lieferkonzepte in Quartieren - die letzte Meile nachhaltig gestalten - Lösungen mit Lastenrädern, Cargo Cruisern und Mikro-Hubs (=Difu Impulse 3/2018). Berlin: Deutsches Institut für Urbanistik, 10-14.
- Brost, M., Ewert, A., Schmid, S., Eisenmann, C., Gruber, J. & Klauenberg, J. (2019): Elektrische Klein- und Leichtfahrzeuge. Chancen und Potenziale für Baden-Württemberg. URL: [https://www.e-mobilbw.de/fileadmin/media/e-mobilbw/Publikationen/Studien/LEV\\_e-mobil\\_BW\\_Leichtfahrzeug\\_Studie.pdf](https://www.e-mobilbw.de/fileadmin/media/e-mobilbw/Publikationen/Studien/LEV_e-mobil_BW_Leichtfahrzeug_Studie.pdf) (Stand: 05.03.2020).
- Browne, M., Piotrowska, M., Woodburn, A. & Allen, J. (2007): Literature Review WM9: Part I - Urban Freight Transport. In: University of Westminster (Hrsg.): Work Module 1 Green Logistics Project.
- Browne, M., Allen, J. & Leonardi, J. (2011): Evaluating the use of an urban consolidation centre and electric vehicles in central London. In: IATSS Research, 35, 1-6.
- Butrina, P., Sheth, M., Goodchild, A. & McCormack, E. (2018): Measuring the Cost Trade-Offs Between Electric-Assist Cargo Bikes and Delivery Trucks Dense Urban Areas. Presented at 97th Annual Meeting of the Transport Research Board. Washington D.C.,
- Cattell, R.B. (1966): The scree test for the number of factors. In: Multivariate behavioral research, 1, 245-276.
- Chang, Y.S., Lee, Y.J. & Choi, S.S.B. (2017): Is there more traffic congestion in larger cities? -Scaling analysis of the 101 largest U.S. urban centers. In: Transport Policy, 59, 54-63.
- Cheng, Y.-H. & Yeh, Y.-J. (2011): Exploring radio frequency identification technology's application in international distribution centers and adoption rate forecasting. In: Technological Forecasting and Social Change, 78, 661-673.
- Choubassi, C., Seedah, D.P.K., Jiang, N. & Walton, M. (2016): An Assessment of Cargo Cycles in Varying Urban Contexts. In Proceedings of the 95th Transportation Research Board Annual Meeting. Washington D.C., 22-26.
- Cleff, T. (2015): Deskriptive Statistik und Explorative Datenanalyse. Eine computergestützte Einführung mit Excel, SPSS und STATA. Gabler Verlag, Wiesbaden.
- Conway, A., Fatisson, P.-E., Eickemeyer, P., Cheng, J. & Peters, D. (2011): Urban Micro-consolidation and last mile goods delivery by freight-tricycle in Manhattan: Opportunities and challenges. In Proceedings of the 91st Transportation Research Board Annual Meeting. Washington D.C., 22-26.
- Conway, A., Cheng, J., Kamga, C. & Wan, D. (2017): Cargo cycles for local delivery in New York City: Performance and impacts. In: Research in Transportation Business & Management, 24, 90-100.
- Cooley, D. (2017): googleway: Accesses Google Maps APIs to Retrieve Data and Plot Maps. R package version 2.2.0. URL: <https://CRAN.R-project.org/package=googleway> (Stand: 30.07.2018).
- Dablanc, L. (2011): Transferability of urban logistics concepts and practices from a world wide perspective – Deliverable 3.1 – Urban logistics practices – Paris Case Study. URL: [http://89.152.245.33/DotNetNuke/Portals/Turblog/DocumentosPublicos/CaseStudies/TURBLOG\\_D3.1\\_ParisFV.pdf](http://89.152.245.33/DotNetNuke/Portals/Turblog/DocumentosPublicos/CaseStudies/TURBLOG_D3.1_ParisFV.pdf) (Stand: 12.12.2014).
- Dablanc, L. & Rodrigue, J.-P. (2017): The Geography of Urban Freight. In: Giuliano, G. & Hansen, S. (Hrsg.): The Geography of Urban Transportation. New York, London: The Guilford Press, 34-56.
- Davis, F.D. (1993): User acceptance of information technology: system characteristics, user perceptions and behavioral impacts. In: International Journal of Man-Machine Studies, 38, 475-487.

- Deckert, C. (2016): CSR und Logistik. Spannungsfelder Green Logistics und City-Logistik. Springer-Verlag, Berlin Heidelberg.
- Destatis (=Statistisches Bundesamt) (2013): Bevölkerung nach allgemeinen und beruflichen Bildungsabschlüssen 2012. URL: <https://www.destatis.de/DE/ZahlenFakten/GesellschaftStaat/BildungForschungKultur/Bildungsstand/Aktuell.html> (Stand: 01.04.2014).
- Destatis (=Statistisches Bundesamt) (2015a): Bestand an Kraftfahrzeugen und Schienenfahrzeugen. Referenzjahr: 2013. URL: <https://www.destatis.de/DE/ZahlenFakten/Wirtschaftsbereiche/TransportVerkehr/UnternehmenInfrastrukturFahrzeugbestand/Tabellen/Fahrzeugbestand.html> (Stand: 13.07.2015).
- Destatis (Statistisches Bundesamt) (2015b): Bevölkerung. Referenzjahr: 2013. URL: <https://www.destatis.de/DE/ZahlenFakten/GesellschaftStaat/Bevoelkerung/Bevoelkerung.html> (Stand: 13.07.2015).
- Destatis (=Statistisches Bundesamt) (2015c): Bevölkerung. Referenzjahr: 2011. URL: <https://www.destatis.de/DE/ZahlenFakten/GesellschaftStaat/Bevoelkerung/Bevoelkerung.html> (Stand: 13.07.2015).
- Destatis (=Statistisches Bundesamt) (2019): Daten aus dem Gemeindeverzeichnis. BIK-Gemeindegrößenklassen nach Fläche, Bevölkerung und Bevölkerungsdichte. Gebietsstand: 31.12.2018. Destatis, Wiesbaden.
- Destatis (=Statistisches Bundesamt) (2020a): 12211-0009: Erwerbstätige: Deutschland, Jahre, Wirtschaftszweige (WZ2008), Geschlecht. Bezugsjahr: 2018. URL: <https://www-genesis.destatis.de/genesis/online?operation=previous&levelindex=0&step=0&titel=Tabellenaufbau&levelid=1594682633161&acceptcookies=false#astucture> (Stand: 14.07.2020).
- Destatis (=Statistisches Bundesamt) (2020b): Bevölkerung: Deutschland, Stichtag, Altersjahre. Stichtag: 31.12.2019. URL: <https://www-genesis.destatis.de/genesis/online?operation=table&code=12411-0005&bypass=true&levelindex=0&levelid=1593896573731#abreadcrumb> (Stand: 04.07.2020).
- Destatis (=Statistisches Bundesamt) (2020c): Klassifikation der Wirtschaftszweige, Ausgabe 2008 (WZ 2008). URL: <https://www.destatis.de/DE/Methoden/Klassifikationen/Gueter-Wirtschaftsklassifikationen/klassifikation-wz-2008.html> (Stand: 12.07.2020).
- Destatis (=Statistisches Bundesamt) (2020d): 52111-0001: Unternehmen (Unternehmensregister-System): Deutschland, Jahre, Wirtschaftszweige (Abschnitte), Beschäftigtengrößenklassen. Bezugsjahr: 2017. URL: <https://www-genesis.destatis.de/genesis/online?operation=table&code=52111-0001&bypass=true&levelindex=0&levelid=1594683450255#abreadcrumb>.
- DGUV (=Deutsche Gesetzliche Unfallversicherung e.V.) (2019): Sicher unterwegs mit dem Transport- und Lastenfahrrad (=DGUV Information 208-055). URL: <https://publikationen.dguv.de/widgets/pdf/download/article/3623> (Stand: 22.01.2020).
- DHL (Deutsche Post) (2013): Deutsche Post entwickelt neues Elektrofahrrad für die Briefzustellung. Press release by Deutsche Post, on 04.06.2013. URL: [http://www.dpdhl.com/de/presse/pressemitteilungen/2013/deutsche\\_post\\_entwickelt\\_elektrofahrrad\\_briefzustellung.html](http://www.dpdhl.com/de/presse/pressemitteilungen/2013/deutsche_post_entwickelt_elektrofahrrad_briefzustellung.html) (Stand: 19.03.2015).
- Dieke, A.K., Arnold, R., Bender, C., Hillebrand, A., Niederprüm, A., Taş, S., Thiele, S. & Wielgosch, J. (2019): Development of Cross-border E-commerce through Parcel Delivery. URL: <https://www.wikiconsult.com/index.php?id=1100> (Stand: 06.06.2020).
- DIFU (=Deutsches Institut für Urbanistik / German Institute of Urban Studies) (2012): Fahrradnutzung im Städtevergleich. Forschung Radverkehr - Analyse A-7/2012. URL: [http://www.nationaler-radverkehrsplan.de/transferstelle/downloads/for\\_a-07.pdf](http://www.nationaler-radverkehrsplan.de/transferstelle/downloads/for_a-07.pdf) (Stand: 19.03.2015). Berlin.

- DIN (=Deutsches Institut für Normung e. V.) (2020): Norm 2020-02. DIN 79010:2020-02. Fahrräder - Transport- und Lastenfahrrad - Anforderungen und Prüfverfahren für ein- und mehrspurige Fahrräder URL: <https://www.beuth.de/de/norm/din-79010/315466805> (Stand: 06.07.2020).
- Douglas, M. (2015): Ökologische Herausforderungen im städtischen Güterverkehr. In: Arndt, W.-H. (Hrsg.): Umweltverträglicher Wirtschaftsverkehr in Städten. Wer und was bringt's wirklich? Dokumentation der Fachtagung "kommunal mobil 2015" am 18./19.6.2015 in Dessau-Roßlau. Berlin,
- Dumbliauskas, V., Grigonis, V. & Barauskas, A. (2017): Application of Google-Based Data for Travel Time Analysis: Kaunas City Case Study. In: Promet-Traffic & Transportation, 29, 613-621.
- Dupont, E. & Martensen, H. (Hrsg.) (2007): Multilevel modelling and time series analysis in traffic research – Methodology. Deliverable D7.4 of the EU FP6 project SafetyNet.
- Dütschke, E., Schneider, U., Peters, A., Paetz, A.-G. & Jochem, P. (2011): Moving Towards more Efficient Car Use: What can be Learnt About Consumer Acceptance from Analysing the Cases of LPG and CNG? In: eceee 2011 Summer Study Proceedings, 10, 1939-1950.
- DWD (=Deutscher Wetterdienst / Germany's National Meteorological Service) (n.d.): Weste-XL. URL: [www.dwd.de/DE/leistungen/weste/westextl/weste\\_xl.html?nn=342632](http://www.dwd.de/DE/leistungen/weste/westextl/weste_xl.html?nn=342632) (Stand: 30.07.2018). Offenbach.
- Ehrler, V. & Hebes, P. (2012): Electromobility for City Logistics–The Solution to Urban Transport Collapse? An Analysis Beyond Theory. In: Procedia - Social and Behavioral Sciences, 48, 786-795.
- Emilio, G., Doloros, H. & Jorge, L. (2015): PRO-E-BIKE. Promoting electrical bikes and scooters for delivery of goods and passenger transport in urban areas. Assessment of environmental impact, economic and societal competitiveness. WP 6/ Task 6.3. D.6.4. URL: [http://www.pro-e-bike.org/wp-content/uploads/2016/02/D-6-4-Assessment-of-environmental-impact-economic-and-societal-competitiveness\\_December-2015.pdf](http://www.pro-e-bike.org/wp-content/uploads/2016/02/D-6-4-Assessment-of-environmental-impact-economic-and-societal-competitiveness_December-2015.pdf) (Stand: 04.06.2020).
- European Commission (2011): Roadmap to a Single European Transport Area – Towards a competitive and resource efficient transport system. White Paper. URL: <http://eur-lex.europa.eu/legal-content/EN/TXT/PDF/?uri=CELEX:52011DC0144&from=EN> (Stand: 20.07.2018).
- European Commission (2018): Air quality: Commission takes action to protect citizens from air pollution. Press release by European Commission on 17.05.2018. URL: [http://europa.eu/rapid/press-release\\_IP-18-3450\\_en.htm](http://europa.eu/rapid/press-release_IP-18-3450_en.htm) (Stand: 16.02.2019).
- Faghih-Imani, A., Anowar, S., Miller, E.J. & Eluru, N. (2017): Hail a cab or ride a bike? A travel time comparison of taxi and bicycle-sharing systems in New York City. In: Transportation Research Part A: Policy and Practice, 101, 11-21.
- Fichter, K. & Clausen, J. (2013): Erfolg und Scheitern "grüner" Innovationen. Warum einige Nachhaltigkeitsinnovationen am Markt erfolgreich sind und andere nicht. Metropolis-Verlag, Marburg.
- Field, A. (2013): Discovering statistics using IBM SPSS statistics. Sage.
- Fischhaber, S. (2016): Evaluation des Förderprogramms "Lastenräder/ Lasten-Pedelecs für Münchner Gewerbetreibende". Forschungsstelle für Energiewirtschaft e.V. (FfE), München.
- Follmer, R., Gruschwitz, D., Jesske, B., Quandt, S., Lenz, B., Nobis, C., Köhler, K. & Mehlin, M. (2010): Mobilität in Deutschland 2008. Kurzbericht. Struktur – Aufkommen – Emissionen – Trends. URL: [http://www.mobilitaet-in-deutschland.de/pdf/MiD2008\\_Kurzbericht\\_I.pdf](http://www.mobilitaet-in-deutschland.de/pdf/MiD2008_Kurzbericht_I.pdf) (Stand: 10.07.2020).
- Forscht, T. & Swoboda, T. (2007): Käuferverhalten. Gabler, Wiesbaden.
- Gelbrich, K. (2007): Innovation und Emotion: die Funktion von Furcht und Hoffnung im Adoptionsprozess einer technologischen Neuheit für die Kunststoffbranche. Göttingen.

- Gevaers, R., van de Voorde, E. & Vanelander, T. (2011): Characteristics and Typology of Last-mile Logistics from an Innovation Perspective in an Urban Context. In: Macharis, C. & Melo, S. (Hrsg.): City Distribution and Urban Freight Transport. Multiple Perspectives. Cheltenham: Edward Elgar Publishing, 56-71.
- Ghebregiabiher, J. & Poscher-Mika, E. (2018): Cargobike Boom. Wie Transporträder unsere Mobilität revolutionieren. Verlag Maxi Kutschera.
- Giuliano, G., O'Brien, T., Dabanc, L. & Holliday, K. (2013): Synthesis of Freight Research in Urban Transportation Planning. In: TRB (Hrsg.): TRB's National Cooperative Freight Research Program (NCFRP) Report 23. Washington D.C., 1-89.
- Glaser, J. (2000): Kurier-, Express-, Paketdienste und Stadtlogistik. Analysen und konzeptionelle Ansätze zur Gestaltung des städtischen Güterverkehrs am Beispiel der Kurier-, Express- und Paketdienste (KEP-Dienste) in Hamburg. München.
- Globisch, J., Schneider, U. & Dütschke, E. (2013): Acceptance of electric vehicles by commercial users in the electric mobility pilot regions in Germany. In: eeeee Summer Study proceedings, 12, 973-983.
- Greene, W.H. (2012): The Generalized Regression Model and Heteroscedasticity. In: Hall, P. (Hrsg.): Econometric Analysis. Boston, 257-289.
- Gruber, J., Kihm, A. & Ehrler, V. (2013): Innovationsbereitschaft von Fahrrad- und Autokurieren gegenüber Elektro-Lastenrädern – eine (ir)rationale Entscheidung? In: Clausen, U. & Thaller, C. (Hrsg.): Wirtschaftsverkehr 2013. Datenerfassung und verkehrsträgerübergreifende Modellierung des Güterverkehrs als Entscheidungsgrundlage für die Verkehrspolitik. Springer Vieweg, 149-166.
- Gruber, J., Kihm, A. & Lenz, B. (2014): A new vehicle for urban freight? An ex-ante evaluation of electric cargo bikes in courier services. In: Research in Transportation Business & Management, 11, 53-62.
- Gruber, J. (2015): Ich ersetze ein Auto (Schlussbericht). Elektro-Lastenräder für den klimafreundlichen Einsatz im Kuriermarkt, Vorhaben 03KSF029 der Nationalen Klimaschutzinitiative des BMUB. URL: [https://www.lastenradtest.de/wordpress/wp-content/uploads/2017/07/Ich-ersetze-ein-Auto\\_Schlussbericht.pdf](https://www.lastenradtest.de/wordpress/wp-content/uploads/2017/07/Ich-ersetze-ein-Auto_Schlussbericht.pdf) (Stand: 11.06.2020). DLR Institut für Verkehrsforschung Berlin-Adlershof.
- Gruber, J., Rudolph, C. & Kolarova, V. (2015): Einflussfaktoren bei der Einführung des Lastenrads im urbanen Wirtschaftsverkehr. In: Zeitschrift für Wirtschaftsgeographie, 59, 115-129.
- Gruber, J. (2016): Untersuchung des Einsatzes von Fahrrädern im Wirtschaftsverkehr (WIV-RAD) Kurzbericht an das Bundesministerium für Verkehr und digitale Infrastruktur (BMVI). FE-Nr. 70.0884/2013.
- Gruber, J., Rudolph, C., Lenz, B., Liedtke, G., Spath, C. & Wrighton, S. (2016): Untersuchung des Einsatzes von Fahrrädern im Wirtschaftsverkehr (WIV-RAD). Schlussbericht an das Bundesministerium für Verkehr und digitale Infrastruktur (BMVI). FoPS 70.0884/2013. DLR-Institut für Verkehrsforschung. URL: [http://www.bmvi.de/SharedDocs/DE/Anlage/VerkehrUndMobilitaet/Fahrrad/wiv-rad-schlussbericht.pdf?\\_\\_blob=publicationFile](http://www.bmvi.de/SharedDocs/DE/Anlage/VerkehrUndMobilitaet/Fahrrad/wiv-rad-schlussbericht.pdf?__blob=publicationFile) (Stand: 31.07.2018). Berlin-Adlershof.
- Gruber, J. (2020): "Ich entlaste Städte" - Das Lastenrad-Testangebot für gewerbliche und öffentliche Nutzer. Schlussbericht. Geplante Veröffentlichung: Herbst 2020. URL: <https://www.lastenradtest.de/ergebnisse/> (Stand: 14.07.2020).
- Hartas, D. (2015): Educational research and inquiry: Qualitative and quantitative approaches. Bloomsbury Publishing.
- Hesse, M. (1993): Verkehrswende. Ökologisch-ökonomische Perspektiven für Stadt und Region. Metropolis-Verlag, Marburg.

- Hesse, M. (1998): Wirtschaftsverkehr, Stadtentwicklung und politische Regulierung. Zur Bedeutung des Strukturwandels in der Distributionslogistik für die Stadtplanung. Beiträge zur Stadtforschung 26. Berlin: Difu.
- Hesse, M. (2018): 25 Jahre Verkehrswende. Ein Rückblick auf die Zukunft. In: Ökologisches Wirtschaften, 33, 16-18.
- Hjorthol, R. (2013): Attitudes, ownership and use of Electric Vehicles - a review of literature. TØI report 1261/2013. URL: [http://www.compett.org/documents/wp\\_2\\_report\\_attetitudes\\_ownership\\_and\\_use\\_of\\_electric\\_vehicles\\_a\\_review\\_of\\_literature.pdf](http://www.compett.org/documents/wp_2_report_attetitudes_ownership_and_use_of_electric_vehicles_a_review_of_literature.pdf) (Stand: 12.12.2014).
- Holguín-Veras, J. & Wang, Q. (2011): Behavioral investigation on the factors that determine adoption of an electronic toll collection system: Freight carriers. In: Transportation Research Part C: Emerging Technologies, 19, 593-605.
- Holguín-Veras, J., Amaya-Leal, J., Wojtowicz, J., Jaller, M., González-Calderón, C., Sánchez-Díaz, I., Wang, X., Haake, D.G., Rhodes, S.S., Hodge, S.D., Frazier, R.J., Nick, M.K., Dack, J., Casinelli, L. & Browne, M. (Hrsg.) (2014): Improving Freight System Performance in Metropolitan Areas.
- Holthaus, T., Leerkamp, B. & Wittenbrink, P. (2018): Neue Güterverkehrskonzepte für die Stadt - das Beispiel Basel. In: Arndt, W.-H. & Klein, T. (Hrsg.): Lieferkonzepte in Quartieren - die letzte Meile nachhaltig gestalten - Lösungen mit Lastenrädern, Cargo Cruisern und Mikro-Hubs (=Difu Impulse 3/2018). Berlin: Deutsches Institut für Urbanistik, 83-94.
- IBI (=ibi research an der Universität Regensburg ) (2019): Prognose: E-Commerce-Anteil am Einzelhandelsumsatz wird bis 2024 nochmals deutlich steigen. URL: [https://ibi.de/assets/presse/2019-01-09\\_pm\\_e-commerce-prognose\\_2024.pdf](https://ibi.de/assets/presse/2019-01-09_pm_e-commerce-prognose_2024.pdf) (Stand: 15.07.2020).
- Ickert, L., Matthes, U., Rommerskirchen, S., Weyand, E., Schlesinger, M. & Limbers, J. (2007): Abschätzung der langfristigen Entwicklung des Güterverkehrs in Deutschland bis 2050. URL: [http://www.bmvi.de/SharedDocs/DE/Anlage/VerkehrUndMobilitaet/Schiene/gueterverkehrs-prognose-2050.pdf?\\_\\_blob=publicationFile](http://www.bmvi.de/SharedDocs/DE/Anlage/VerkehrUndMobilitaet/Schiene/gueterverkehrs-prognose-2050.pdf?__blob=publicationFile) (Stand: 12.03.2015).
- IHK Mittlerer Niederrhein (Hrsg.) (2019): Handbuch: Mikro-Depots im interkommunalen Verbund am Beispiel der Kommunen Krefeld, Mönchengladbach und Neuss.
- Infas (=Infas Geodaten GmbH ) (2011): Corporate location data base. Datenstand Dezember 2011. Bonn.
- INRIX (2017): Die Folgen der Parkplatzproblematik in den Vereinigten Staaten, Großbritannien und Deutschland.
- James, G., Witten, D., Hastie, T. & Tibshirani, R. (2013): An Introduction to Statistical Learning with Applications in R. New York.
- Jongeneel, R.A., Polman, N.B.P. & Slangen, L.H.G. (2008): Why are Dutch farmers going multifunctional? In: Land Use Policy, 25, 81-94.
- Juchelka, R. (2011): Leitbild nachhaltige Mobilität aus wissenschaftlicher Sicht. In: Mager, T.J. (Hrsg.): Nachhaltige Mobilität - Vom Mobilitätsmanagement bis zur Elektromobilität. Köln: ksv-verlag, 17-28.
- Kagermeier, A. (1997): Siedlungsstruktur und Verkehrsmobilität. Eine empirische Untersuchung am Beispiel von Südbayern. Dortmunder Vertrieb für Bau- und Planungsliteratur, Dortmund.
- Kagermeier, A. (1999): Verkehrsgeographische Forschung im Spannungsfeld zwischen sachlicher Analyse und mitgestaltender Politikberatung. Geographentag Hamburg 1999. State-of-the-Art-Berichte aus der Antropogeographie. URL:

- [https://www.kagermeier.de/mediapool/15/157354/data/Publikationen\\_ab\\_2006/Publikationen\\_bis\\_2005/Kagermeier\\_Geotag\\_99.pdf](https://www.kagermeier.de/mediapool/15/157354/data/Publikationen_ab_2006/Publikationen_bis_2005/Kagermeier_Geotag_99.pdf) (Stand: 24.07.2020).
- Kaiser, H.F. (1960): The application of electronic computers to factor analysis. In: Educational and psychological measurement, 20, 141-151.
- Kassyda, C. (2016): Urbaner Wirtschaftsverkehr. Herausforderungen für leichte Nutzfahrzeuge und Vorstellung der Projektinitiative Urbane Logistik Hannover (USEfUL). URL: [www.now-gmbh.de/content/1-aktuelles/1-presse/20171023-now-startet-austausch-zu-nachhaltigen-konzepten-fuer-staedtischen-wirtschaftsverkehr/now\\_ws-urbaner-wirtschaftsverkehr\\_vortrag\\_kassyda.pdf](http://www.now-gmbh.de/content/1-aktuelles/1-presse/20171023-now-startet-austausch-zu-nachhaltigen-konzepten-fuer-staedtischen-wirtschaftsverkehr/now_ws-urbaner-wirtschaftsverkehr_vortrag_kassyda.pdf) (Stand: 16.02.2019).
- Koning, M. & Conway, A. (2014): Biking for goods is good: An Assessment of CO2 savings in Paris. In Proceedings of the 94st Transportation Research Board Annual Meeting.
- Kraftfahrt-Bundesamt (2018): Bestand an Kraftfahrzeugen und Kraftfahrzeuganhängern nach Gemeinde. URL: [https://www.kba.de/SharedDocs/Publikationen/DE/Statistik/Fahrzeuge/FZ/2018/fz3\\_2018\\_xls.xls?\\_\\_blob=publicationFile&v=4](https://www.kba.de/SharedDocs/Publikationen/DE/Statistik/Fahrzeuge/FZ/2018/fz3_2018_xls.xls?__blob=publicationFile&v=4) (Stand: 30.07.2018).
- Kreft, I.G.G. & de Leeuw, J. (1998): Introducing. In: Sage Publications Inc. (Hrsg.): Introducing Multilevel Modeling. London, 1-21.
- Kutter, E. (Hrsg.) (2004): Wirtschaftsverkehr in Städten - Wege aus der Krise : Kolloquium; 1. Europäisches Kommunalpolitisches Verkehrsforum, 13. und 14. November 2003 in Dresden, Berlin.
- Laflamme, E.M. & Ossenbruggen, P.J. (2017): Effect of time-of-day and day-of-the-week on congestion duration and breakdown: A case study at a bottleneck in Salem, NH. In: Journal of Traffic and Transportation Engineering (English Edition), 4, 31-40.
- Langert, M. (2007): Der Anbau nachwachsender Rohstoffe in der Landwirtschaft Sachsen-Anhalts und Thüringens - Eine innovations- und diffusionstheoretische Untersuchung. Dissertation an der Philosophischen Fakultät I der Martin-Luther-Universität Halle-Wittenberg, Halle & Wittenberg.
- Larsen, J. (2016): The making of a pro-cycling city: Social practices and bicycle mobilities. In: Environment and Planning A, 49, 876-892.
- Laugesen, M.S. (2013): E-Mobility NSR. Comparative Analysis of European Examples of Schemes for Freight Electric Vehicles. URL: [http://e-mobility-nsr.eu/fileadmin/user\\_upload/downloads/info-pool/E-Mobility\\_-\\_Final\\_report\\_7.3.pdf](http://e-mobility-nsr.eu/fileadmin/user_upload/downloads/info-pool/E-Mobility_-_Final_report_7.3.pdf) (Stand: 26.01.2015).
- Le Galès, P. & Zagrodzki, M. (2006): Cities are back in town: the US/Europe comparison. Cahier Européen numéro 05/06 du Pôle Ville/métropolis/cosmopolis, Centre d'Etudes Européennes de Sciences Po (Paris).
- Leaserad (2015): Pedelecs im Business-Einsatz, Betriebswirtschaftliche Aspekte. URL: [http://www.bba-bw.de/files/2\\_leaserad\\_e-mobil-bw\\_130415\\_1.pdf](http://www.bba-bw.de/files/2_leaserad_e-mobil-bw_130415_1.pdf) (Stand: 30.10.2015).
- Leerkamp, B. (2018): Stadtlogistik reloaded: Alte und neue Handlungsansätze im städtischen Wirtschaftsverkehr. URL: [https://www.agora-verkehrswende.de/fileadmin/Projekte/2017/Urbane\\_Logistik/Vortrag\\_Leerkamp\\_Stadtlogistik\\_2.0\\_Veroeffentlichung.pdf](https://www.agora-verkehrswende.de/fileadmin/Projekte/2017/Urbane_Logistik/Vortrag_Leerkamp_Stadtlogistik_2.0_Veroeffentlichung.pdf) (Stand: 9.9.2019).
- Lenz, B. & Riehle, E. (2013): Bikes for Urban Freight? In: Transportation Research Record: Journal of the Transportation Research Board, 2379, 39-45.
- Leonardi, J., Browne, M. & Allen, J. (2012): Before-After Assessment of a Logistics Trial with Clean Urban Freight Vehicles: A Case Study in London. In: Procedia - Social and Behavioral Sciences, 39, 146-157.

- Litfin, T. (2000): Adoptionsfaktoren: Empirische Analyse am Beispiel eines innovativen Telekommunikationsdienstes. Wiesbaden.
- Liu, W., Wang, C. & Mol, A.P.J. (2013): Rural public acceptance of renewable energy deployment: The case of Shandong in China. In: *Applied Energy*, 102, 1187-1196.
- LNC (=LogisticNetwork Consultants GmbH) (2019a): Paketauslieferung per Lastenrad erfolgreich erprobt. Pressemitteilung vom 22. Mai 2019. URL: [https://www.komodo.berlin/app/download/9584665469/2019-05-22+KoMoDo+Pressemitteilung\\_vsd.pdf?t=1558534915](https://www.komodo.berlin/app/download/9584665469/2019-05-22+KoMoDo+Pressemitteilung_vsd.pdf?t=1558534915).
- LNC (=LogisticNetwork Consultants GmbH) (2019b): Faktenblatt KoMoDo. URL: [https://www.komodo.berlin/app/download/9584663769/KoMoDo\\_Faktenblatt.pdf?t=1575903004](https://www.komodo.berlin/app/download/9584663769/KoMoDo_Faktenblatt.pdf?t=1575903004) (Stand: 30.06.2020).
- Lüthje, C. (2007): Die Verbreitung von Innovationen. In: Birbaumer, N. & Rosenstiel, L.v. (Hrsg.): *Enzyklopädie der Psychologie, Serie III: Wirtschafts-, Organisations- und Arbeitspsychologie, Band 5: Marktpsychologie*. Hogrefe & Göttingen, 291-341.
- Maes, J. & Vanelander, T. (2012): The Use of Bicycle Messengers in the Logistics Chain, Concepts Further Revised. In: *Procedia - Social and Behavioral Sciences*, 39, 409-423.
- Maes, J. (2014): Welfare Economic Evaluation of Urban Freight Distribution Concept with Cargo Cycles. In *Proceedings of the 94st Transportation Research Board Annual Meeting*.
- Maes, J. (2017): The potential of cargo bicycle transport as a sustainable solution for urban logistics. Doktorarbeit an der Universität Antwerpen. URL: <https://www.google.com/url?sa=t&rct=j&q=&esrc=s&source=web&cd=&cad=rja&uact=8&ved=2ahUKEwj50teq9ObqAhUR4aOKHejLA6wQFjAAegQIARAB&url=https%3A%2F%2Fdoc.anet.be%2Fdocman%2Fdocman.phtml%3Ffile%3D.irua.dffe74.12869.pdf&usg=AOvVaw1wy-aT7X4u8MILR8peiDwj> (Stand: 24.07.2020). Antwerpen.
- Manner-Romberg, H., Symanczyk, W., Ströh, M., Deecke, H., Bastron, I. & Marwig, A. (2009): Primärerhebung auf den Märkten für Kurier-, Express- und Paketdienste. URL: [https://www.post-und-telekommunikation.de/PuT/1Fundus/Dokumente/BNetzA\\_MRU\\_Primaererhebung\\_KEP\\_200915905.pdf](https://www.post-und-telekommunikation.de/PuT/1Fundus/Dokumente/BNetzA_MRU_Primaererhebung_KEP_200915905.pdf) (Stand: 04.07.2020).
- Manner-Romberg, H., Symanczyk, W. & Miller, J. (2012): Der KEP-Markt in Deutschland. URL: [https://bdkep.de/files/bdkep-dateien/pdf/KEP-Markt\\_Deutschland.pdf](https://bdkep.de/files/bdkep-dateien/pdf/KEP-Markt_Deutschland.pdf) (Stand: 15.02.2019).
- Manner-Romberg, H. & Müller-Steinfahrt, U. (2017): Marktuntersuchung und Entwicklungstrends von Kurier-, Express- und Paketdienstleistungen 2017.
- Mariano, M.J., Villano, R. & Fleming, E. (2012): Factors influencing farmers' adoption of modern rice technologies and good management practices in the Philippines. In: *Agricultural Systems*, 110, 41-53.
- McKinsey&Company (2019): The endgame for postal networks. How to win in the age of e-commerce. URL: <https://www.mckinsey.com/~media/McKinsey/Industries/Travel%20Transport%20and%20Logistics/Our%20Insights/The%20endgame%20for%20postal%20networks%20How%20to%20win%20in%20the%20age%20of%20e%20commerce/The-endgame-for-postal-networks-Executive-summary.pdf> (Stand: 24.07.2020).
- Melo, R.A. & Zarruk, D. (2016): gmapsdistance: Distance and Travel Time Between Two Points from Google Maps. R package version 3.1. URL: <https://github.com/rodazuero/gmapsdistance> (Stand: 30.07.2018).
- Melo, S., Baptista, P. & Costa, A. (2014): The Cost and Effectiveness of Sustainable City Logistics Policies Using Small Electric Vehicles. In: Macharis, C., Melo, S., Woxenius, J. & Van Lier, T. (Hrsg.): *Sustainable Logistics: Volume 6*. Emerald,



- Melo, S. & Baptista, P. (2017): Evaluating the impacts of using cargo cycles on urban logistics: integrating traffic, environmental and operational boundaries. In: European Transport Research Review, 9.
- Menge, J. & Horn, B. (2014): Fahrradnutzung im Wirtschaftsverkehr. In: Bracher, T., Dziekan, K., Gies, J., Holzapfel, H., Huber, F., Kiepe, F., Reutter, U., Saary, K. & Schwedes, O. (Hrsg.): HKV – Handbuch der kommunalen Verkehrsplanung. Berlin, 1-24.
- Möhring, W. & Schlütz, D. (2013): Handbuch standardisierte Erhebungsverfahren in der Kommunikationswissenschaft. Springer.
- Moulton, B.R. (1986): Random group effects and the precision of regression estimates. In: Journal of Econometrics, 32, 385-397.
- Mulaik, S.A. (2009): Foundations of factor analysis. Chapman and Hall/CRC.
- Needell, Z.A., McNerney, J., Chang, M.T. & Trancik, J.E. (2016): Potential for widespread electrification of personal vehicle travel in the United States. In: Nature Energy, 1.
- Nesbitt, K. & Sperling, D. (2001): Fleet purchase behavior: decision processes and implications for new vehicle technologies and fuels. In: Transportation Research Part C: Emerging Technologies, 9, 297-318.
- Ninnemann, J., Hölter, A.-K., Beecken, W., Thyssen, R. & Tesch, T. (2017): Last-Mile-Logistics Hamburg – Innerstädtische Zustelllogistik. Studie im Auftrag der Behörde für Wirtschaft, Verkehr und Innovation der Freien und Hansestadt Hamburg. URL: [https://www.hsba.de/fileadmin/user\\_upload/bereiche/forschung/Forschungsprojekte/Abschlussbericht\\_Last\\_Mile\\_Logistics.pdf](https://www.hsba.de/fileadmin/user_upload/bereiche/forschung/Forschungsprojekte/Abschlussbericht_Last_Mile_Logistics.pdf) (Stand: 14.9.2019). Hamburg.
- Nordenholz, F. (2012): Elektrische Zweiräder für den innerstädtischen Güterverkehr? Das Beispiel der Speisenauslieferungsbranche in Berlin. Masterarbeit am Geographischen Institut der Humboldt-Universität zu Berlin, Berlin.
- Nuhn, H. & Hesse, M. (2006): Verkehrsgeographie. Ferdinand Schöningh, Paderborn.
- Nürnberg, M. (2019): Analysis of using cargo bikes in urban logistics on the example of Stargard. In: Transportation Research Procedia, 39, 360-369.
- Ozaki, R. & Sevastyanova, K. (2011): Going hybrid: An analysis of consumer purchase motivations. In: Energy Policy, 39, 2217-2227.
- Patier, D., Serouge, M., Routhier, J.-L. & Toilier, F. (2014): Annexes au Rapport Enquêtes, Transport de Marchandises en Ville, Contribution du Laboratoire d'Economie des Transports à un guide méthodologique. Laboratoire d'Economie des Transports, Lyon.
- Pinheiro, J.C. & Bates, D.M. (2000): Extending the Basic Linear Mixed-Effects Model. In: Pinheiro, J.C. & Bates, D.M. (Hrsg.): Mixed-Effects Models in S and S-PLUS New York, 201-270.
- Plötz, P., Schneider, U., Globisch, J. & Dütschke, E. (2014): Who will buy electric vehicles? Identifying early adopters in Germany. In: Transportation Research Part A: Policy and Practice, 67, 96-109.
- Prümm, D., Kauschke, P. & Peiseler, H. (2017): Aufbruch auf der letzten Meile. Neue Wege für die städtische Logistik. URL: <https://www.pwc.de/de/transport-und-logistik/pwc-studie-aufbruch-auf-der-letzten-meile.pdf> (Stand: 07.07.2020).
- Purkardhofer, L. (2018): Weichenstellungen für eine nachhaltige KEP-Logistik in Innenstädten. In: Arndt, W.-H. & Klein, T. (Hrsg.): Lieferkonzepte in Quartieren - die letzte Meile nachhaltig gestalten - Lösungen mit Lastenrädern, Cargo Cruisern und Mikro-Hubs (=Difu Impulse 3/2018). Berlin: Deutsches Institut für Urbanistik, 57-68.

- Quak, H.J. (2008): Sustainability of Urban Freight Transport. Retail Distribution and Local Regulations in Cities.
- Randelhoff, M. (2014): Vergleich unterschiedlicher Flächeninanspruchnahmen nach Verkehrsarten (pro Person). URL: <https://www.zukunft-mobilitaet.net/78246/analyse/flaechenbedarf-pkw-fahrrad-bus-strassenbahn-stadtbahn-fussgaenger-metro-bremsverzoegerung-vergleich/?highlight=fl%C3%A4cheninanspruchnahme> (Stand: 06.07.2020).
- Remke, R. (2019): Lastenräder im städtischen Wirtschaftsverkehr: Veränderungen von Transportpraktiken in Unternehmen. Masterarbeit im Studiengang "Sustainability Economics and Management" an der Carl von Ossietzky Universität Oldenburg.
- Riehle, E. (2012): Das Lastenfahrrad als Transportmittel für städtischen Wirtschaftsverkehr. Eine Untersuchung europäischer Beispiele zur Abschätzung von Rahmenbedingungen und Potenzialen für deutsche Städte. Master's thesis in the subject area Transport Systems and Planning, Technical University, Dortmund.
- Rogers, E.M. (2003): Diffusion of Innovations. New York City.
- Roumboutsos, A., Kapros, S. & Vanelander, T. (2014): Green city logistics: Systems of Innovation to assess the potential of E-vehicles. In: Research in Transportation Business & Management, 11, 43-52.
- Rudolph, C. & Gruber, J. (2017): Cargo cycles in commercial transport: Potentials, constraints, and recommendations. In: Research in Transportation Business & Management, 24, 26-36.
- Rudolph, C., Gruber, J. & Liedtke, G. Simplified scenario based simulation of parcel deliveries in urban areas using electric cargo cycles and urban consolidation centers. 7th Transport Research Arena TRA 2018, April 16-19, 2018 Vienna, Austria.
- Ryghaug, M. & Toftaker, M. (2014): A Transformative Practice? Meaning, Competence, and Material Aspects of Driving Electric Cars in Norway. In: Nature and Culture, 9, 146-163.
- Savan, B., Cohlmeier, E. & Ledsham, T. (2017): Integrated strategies to accelerate the adoption of cycling for transportation. In: Transportation Research Part F: Traffic Psychology and Behaviour, 46, 236-249.
- Schaader, P. (2018): Von wegen „ultraschnell“: Amazon schränkt den Prime-Now-Service in Berlin ein (und baut Tegel als Logistik-Hub aus. URL: <https://www.supermarktblog.com/2018/06/14/von-wegen-ultraschnell-amazon-schraenkt-den-prime-now-service-in-berlin-ein/>.
- Schenk, M., Assmann, T. & Behrendt, F. (2017): Intelligente Lastenradlogistik - Stand und Entwicklungsperspektiven für den effizienten logistischen Einsatz in urbanen Systemen. In: Werbeagentur, u. (Hrsg.): Jahrbuch Logistik 2017. Wuppertal: unikat Werbeagentur, 84-89.
- Schier, M., Offermann, B., Weigl, J.D., Maag, T., Mayer, B., Rudolph, C. & Gruber, J. (2016): Innovative Two Wheeler Technologies for Future Mobility Concepts. International Conference on Ecological Vehicles and Renewable Energies EVER16, 06.-08. Apr. 2016, Monte Carlo.
- Schleinitz, K., Petzoldt, T., Franke-Bartholdt, L., Krems, J. & Gehlert, T. (2017): The German Naturalistic Cycling Study – Comparing cycling speed of riders of different e-bikes and conventional bicycles. In: Safety Science, 92, 290-297.
- Schliwa, G., Armitage, R., Aziz, S., Evans, J. & Rhoades, J. (2015): Sustainable city logistics — Making cargo cycles viable for urban freight transport. In: Research in Transportation Business & Management, 15, 50-57.
- Schmid, J. & Stawicki, M. (2017): "Mir sattlā um!" - eCargobikes im Berner Wirtschaftsverkehr. URL: <http://docplayer.org/82141294-Mir-sattlae-um-ecargobikes-im-berner-wirtschaftsverkehr-resultate-der-begleitforschung.html> (Stand: 24.07.2020).

- Schönberg, T., Huster, S. & Wunder, T. (2018): Urbane Logistik 2030 - Gemeinsam gegen den Wilden Westen. URL: [https://www.bvl.de/files/1951/1988/2128/Urban\\_Logistik.pdf](https://www.bvl.de/files/1951/1988/2128/Urban_Logistik.pdf) (Stand: 01.07.2020).
- Schubert, M., Kluth, T., Nebauer, G., Ratzenberger, R., Kotzagiorgis, S., Butz, B., Schneider, W. & Leible, M. (2014): Verkehrsverflechtungsprognose 2030. Zusammenfassung der Ergebnisse. BVU/ITP/IVV/planco, Freiburg/München/Aachen/Essen.
- Schumacher, P. (2012): Deutsche Post DHL. Pro Tag 15000 Pakete und Päckchen. URL: <http://www.rundschau-online.de/bonn/deutsche-post-dhl-pro-tag-15-000-pakete-und-paeckchen,15185502,21153024.html> (Stand: 27.02.2014). Bonn.
- Seiter, M., Autenrieth, P. & Schüler, F. (2019): Logistikdienstleister im Zeitalter digitaler Plattformen. In, 585-600.
- Shove, E., Pantzar, M. & Watson, M. (2012): The Dynamics of Social Practice: Everyday Life and How it Changes. SAGE.
- Sierzchula, W. (2014): Factors influencing fleet manager adoption of electric vehicles. In: Transportation Research Part D: Transport and Environment, 31, 126-134.
- Sonntag, H. (2015): Wirtschaftsverkehr in Metropolräumen – Herausforderungen und Lösungsansätze. Vortrag auf der IWIT Konferenz – Effizienter Wirtschaftsverkehr durch Verkehrsinformation und Telematik. URL: <https://publister.bib.th-wildau.de/publister/public/publication/975> (Stand: 6.7.2019).
- Spotswood, F., Chatterton, T., Tapp, A. & Williams, D. (2015): Analysing cycling as a social practice: An empirical grounding for behaviour change. In: Transportation Research Part F: Traffic Psychology and Behaviour, 29, 22-33.
- Staricco, L. & Vitale Brovarone, E. (2016): The spatial dimension of cycle logistic. In: Tema. Journal of Land Use, Mobility and Environment, 9, 173-190.
- Statista (2015a): Verfügbares Einkommen je ledigem Arbeitnehmer ohne Kinder\* in Deutschland. Referenzjahr: 2013. URL: <http://de.statista.com/statistik/daten/studie/164049/umfrage/verfuegbares-einkommen-je-arbeitnehmer-in-deutschland-seit-1960> (Stand: 13.07.2015).
- Statista (2015b): Bildungsstand: Verteilung der Bevölkerung in Deutschland nach höchstem Schulabschluss. Referenzjahr 2013. URL: <https://de.statista.com/statistik/daten/studie/1988/umfrage/bildungsabschluesse-in-deutschland/> (Stand: 13.07.2015).
- Strauss, J. & Miranda-Moreno, L.F. (2017): Speed, travel time and delay for intersections and road segments in the Montreal network using cyclist Smartphone GPS data. In: Transportation Research Part D: Transport and Environment, 57, 155-171.
- Tabachnick, B.G. & Fidell, L.S. (2007): Using multivariate statistics. Allyn & Bacon/Pearson Education.
- Tengattini, S. & Bigazzi, A.Y. (2017): Context-sensitive, first-principles approach to bicycle speed estimation. In: IET Intelligent Transport Systems, 11, 411-416.
- Thaller, C., Telake, M., Clausen, U., Dahmen, B. & Leerkamp, B. (2017): KEP-Verkehr in urbanen Räumen. In: Proff, H. & Fojcik, T.M. (Hrsg.): Innovative Produkte und Dienstleistungen in der Mobilität. Wiesbaden: Springer Gabler, 443-458.
- Thielmann, A., Wietschel, M., Funke, S., Grimm, A., Hettesheimer, T., Langkau, S., Loibl, A., Moll, C., Neef, C., Plötz, P., Sievers, L., Espinoza, L.T. & Edler, J. (2020): Batterien für Elektroautos: Faktencheck und Handlungsbedarf. Sind Batterien für Elektroautos der Schlüssel für eine nachhaltige Mobilität der Zukunft? Fraunhofer-Institut für System-und Innovationsforschung ISI, Karlsruhe.

- Transport for London (Hrsg.) (2009): Cycle freight in London: A scoping study, London.
- Tranter, P. (2012): Effective speed: Cycling because it's faster. In: Pucher, J. & Buehler, R. (Hrsg.): City Cycling. Cambridge, 57–74.
- Van Duin, J.H.R., Tavasszy, L.A. & Quak, H.J. (2013): Towards E(lectric)- urban freight: first promising steps in the electric vehicle revolution. In: 54, 1-19.
- VCD (=Verkehrslub Deutschland e.V.) (2015): Lasten auf die Räder. VCD-Kostenrechner. URL: <http://lastenrad.vcd.org/nc/vorteile/kostenvorteil/calculator/> (Stand: 07.07.2020).
- Venkatesh, V., Morris, M.G., Davis, G.B. & Davis, F.D. (2003): User Acceptance of Information Technology: Toward a Unified View. In: MIS Quarterly, 27, 425.
- Verlinde, S., Macharis, C., Milan, L. & Kin, B. (2014): Does a Mobile Depot Make Urban Deliveries Faster, More Sustainable and More Economically Viable: Results of a Pilot Test in Brussels. In: Transportation Research Procedia, 4, 361-373.
- Viergutz, K., Maertens, S., Scheier, B., Lütjens, K., Goletz, M., Grimme, W. & Liedtke, G. (2020): Plattformbasiertes Sharing und Pooling im Verkehrssektor — ein Systematisierungsansatz. In: Wirtschaftsdienst, 100, 117-123.
- Vijayakumar, N. (2017): Cyclelogistics. Opportunities for moving goods by bicycle in Toronto. Pembina Institute. URL: <https://www.pembina.org/reports/cyclogistics-final.pdf> (Stand: 22.05.2020). Toronto.
- Wang, F. & Xu, Y. (2011): Estimating O–D travel time matrix by Google Maps API: implementation, advantages, and implications. In: Annals of GIS, 17, 199-209.
- WEF (=World Economic Forum) (2020): The Future of the Last-Mile Ecosystem. Transition Roadmaps for Public- and Private-Sector Players. World Economic Forum. URL: [http://www3.weforum.org/docs/WEF\\_Future\\_of\\_the\\_last\\_mile\\_ecosystem.pdf](http://www3.weforum.org/docs/WEF_Future_of_the_last_mile_ecosystem.pdf) (Stand: 21.03.2020). Cologny/Geneva.
- Wessels, J. (2013): Cyclelogistics. Die Entwicklung eines neuen Pedelecs für die Briefzustellung bei der DP AG. Vortrag vor dem Forschungsforum "Mobilität für Alle". Wien. In.
- Wietschel, M., Dütschke, E., Funke, S., Peters, A., Plötz, P., Schneider, U., Roser, A. & Globisch, J. (2012): Kaufpotenzial für Elektrofahrzeuge bei sogenannten "Early Adoptern": Studie im Auftrag des Bundesministerium für Wirtschaft und Technologie (BMWi). Karlsruhe.
- Witte, C., Krichel, P. & Sommer, C. (2011): Verlagerung des Lieferverkehrs auf Fahrradkuriere - Methode und Ergebnisse einer Potenzialstudie. In: Clausen, U. (Hrsg.): Wirtschaftsverkehr 2011 Modelle - Strategien – Nachhaltigkeit. Dortmund, 158-170.
- Wittenbrink, P., Leerkamp, B. & Holthaus, T. (2016): Städtisches Güterverkehrskonzept für den Kanton Basel-Stadt. Gutachten im Auftrag des Bau- und Verkehrsdepartements des Kantons Basel-Stadt. (Stand). Luzern/Wuppertal.
- Wolf, A. & Seebauer, S. (2014): Technology adoption of electric bicycles: A survey among early adopters. In: Transportation Research Part A: Policy and Practice, 69, 196-211.
- Wood, G. (2013): D2.4 Feasibility study; screening of communal and small trade services. URL: [http://one.cyclelogistics.eu/docs/119/D2\\_4\\_Communal\\_Services\\_v3\\_Sept\\_2013.pdf](http://one.cyclelogistics.eu/docs/119/D2_4_Communal_Services_v3_Sept_2013.pdf) (Stand: 28.05.2020).
- Wrighton, S., Armstrong, G., Rzewnicki, R., King, R., Balboni, M., Zlatev, V., Colville-Andersen, M., Moldovan, N., Wood, G. & Daggers, T. (2014): D6.9 Final Public Report. Public Report about the CycleLogistics Project 2011 -2014. URL:

- [http://one.cyclelogistics.eu/docs/119/D6\\_9\\_FPR\\_Cyclelogistics\\_print\\_single\\_pages\\_final.pdf](http://one.cyclelogistics.eu/docs/119/D6_9_FPR_Cyclelogistics_print_single_pages_final.pdf) (Stand: 13.9.2019).
- Wrighton, S. & Reiter, K. (2016): CycleLogistics – Moving Europe Forward! In: Transportation Research Procedia, 12, 950-958.
- Wrighton, S., King, R., Manville, S., Meerschaert, V. & al., e. (2017): Cyclelogistics Ahead. Final Publishable Report. URL: [http://two.cyclelogistics.eu/docs/119/D6\\_11\\_Final\\_Publishable\\_Report\\_WEB0.pdf](http://two.cyclelogistics.eu/docs/119/D6_11_Final_Publishable_Report_WEB0.pdf) (Stand: 13.9.2019).
- Ye, L., Mokhtarian, P.L. & Circella, G. (2012): Commuter impacts and behavior changes during a temporary freeway closure: the 'Fix I-5' project in Sacramento, California. In: Transportation Planning and Technology, 35, 341-371.
- Zhang, L., Matteis, T., Thaller, C. & Liedtke, G. (2018): Simulation-based Assessment of Cargo Bicycle and Pick-up Point in Urban Parcel Delivery. In: Procedia Computer Science, 130, 18-25.
- ZIV (=Zweirad-Industrie-Verband) (2014): Zahlen – Daten – Fakten zum Fahrradmarkt in Deutschland. URL: [http://ziv-zweirad.de/fileadmin/redakteure/Downloads/PDFs/PK\\_2014-ZIV\\_Praesentation\\_25-03-2014\\_oT.pdf](http://ziv-zweirad.de/fileadmin/redakteure/Downloads/PDFs/PK_2014-ZIV_Praesentation_25-03-2014_oT.pdf) (Stand: 10.07.2014).
- ZIV (=Zweirad-Industrie-Verband) (2019): AG Lasten- und Transportfahrräder. Sitzung am 10. Dezember 2019 in Berlin.
- ZIV (=Zweirad-Industrie-Verband) (2020): Wirtschaftspressekonferenz am 11. März 2020 in Berlin. Zahlen – Daten – Fakten zum Fahrradmarkt in Deutschland 2019. URL: [https://www.ziv-zweirad.de/fileadmin/redakteure/Downloads/Marktdaten/PK-2020\\_11-03-2020\\_Praesentation.pdf](https://www.ziv-zweirad.de/fileadmin/redakteure/Downloads/Marktdaten/PK-2020_11-03-2020_Praesentation.pdf) (Stand: 20.06.2020).

## **Eidstattliche Erklärung / Selbständigkeitserklärung**

Ich erkläre, dass ich die Dissertation selbständig und nur unter Verwendung der von mir gemäß § 7 Abs. 3 der Promotionsordnung der Mathematisch-Naturwissenschaftlichen Fakultät, veröffentlicht im Amtlichen Mitteilungsblatt der Humboldt-Universität zu Berlin Nr. 42/2018 am 11.07.2018 angegebenen Hilfsmittel angefertigt habe.

Berlin, 24. Juli 2020, Johannes Gruber

## **Anhang: Druckfassungen der veröffentlichten fünf Fachartikel**

### **Fachartikel A-1:**

Gruber, J., Kihm, A. & Lenz, B. (2014): A new vehicle for urban freight? An ex-ante evaluation of electric cargo bikes in courier services. In: *Research in Transportation Business & Management*, 11, 53–62.

Original source: <https://doi.org/10.1016/j.rtbm.2014.03.004>

### **Fachartikel A-2:**

Gruber, J. & Kihm, A. (2016): Reject or Embrace? Messengers and Electric Cargo Bikes. In: *Transportation Research Procedia*, 12, 900–910.

Original source: <https://doi.org/10.1016/j.trpro.2016.02.042>

### **Fachartikel B-1:**

Gruber, J., Rudolph, C., & Kolarova, V. (2015). Einflussfaktoren bei der Einführung des Lastenrads im urbanen Wirtschaftsverkehr, *Zeitschrift für Wirtschaftsgeographie*, 59(1), 115–129.

Original source: <https://doi.org/10.1515/zfw.2015.0009>

### **Fachartikel B-2:**

Thoma, L. & Gruber, J. (2020): Drivers and barriers for the adoption of cargo cycles: An exploratory factor analysis. In: *Transportation Research Procedia*, 46, 197–203.

Original source: <https://doi.org/10.1016/j.trpro.2020.03.181>

### **Fachartikel C:**

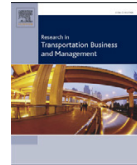
Gruber, J. & Narayanan, S. (2019): Travel Time Differences between Cargo Cycles and Cars in Commercial Transport Operations. In: *Transportation Research Record: Journal of the Transportation Research Board*, 2673, 623–637.

Original source: <https://doi.org/10.1177/0361198119843088>



Contents lists available at ScienceDirect

## Research in Transportation Business &amp; Management



## A new vehicle for urban freight? An ex-ante evaluation of electric cargo bikes in courier services

Johannes Gruber<sup>1, 2, \*</sup>, Alexander Kihm<sup>1</sup>, Barbara Lenz<sup>1</sup><sup>1</sup>German Aerospace Center (DLR), Institute of Transport Research, Rutherfordstrasse 2, 12489 Berlin, Germany<sup>2</sup>Humboldt University of Berlin, Geography Department, Unter den Linden 6, 10099 Berlin, Germany

## ARTICLE INFO

## Article history:

Received 30 September 2013

Received in revised form 28 February 2014

Accepted 14 March 2014

Available online 14 April 2014

## Keywords:

Courier service

Electric cargo bike

User acceptance

Binary logit model

## ABSTRACT

One possible strategy to tackle the negative effects of urban freight is the substitution of cars by electric cargo bikes for inner-city courier shipments. This paper determines whether there is a potential market for electric cargo bikes, how the current market is organized, how electric cargo bikes are perceived by bike and car messengers, and what factors drive their willingness to use them. We find that in terms of cost, payload and range, electric cargo bikes lie in between two existing modes (bikes and cars) that have a largely overlapping market. Vehicle choice is commonly made by freelance messengers, as many courier companies don't operate their own fleets. Therefore they can contribute only indirectly to the dissemination of electric cargo bikes by considering them in their operational management. Despite the fact that most messengers have not used an electric cargo bike before, it was generally regarded to be suitable for courier shipments. Using a binary logit model, we find that messengers' demographics, their professional practice as well as their attitudes and values have significant impacts on their willingness to use electric cargo bikes. Critical factors for actual implementation appear to be electric range, purchase price and publically available information.

© 2014 Elsevier Ltd. All rights reserved.

## 1. Introduction

Technical innovations, particularly in vehicle design, will play a very considerable role in the future in reducing emissions, especially in urban areas. In combination with new concepts in the organization of mobility and transport, they can contribute significantly to greater sustainability in transport. Comprehensive overviews of efficient and sustainable strategies for last-mile deliveries have been given by Giuliano, O'Brien, Dablan, and Holliday (2013) and Browne, Piotrowska, Woodburn, and Allen (2007). One of these strategies is the use of electric vehicles for urban freight (van Duin, Tavasszy, & Quak, 2013). As the market for currently available electric cars, and especially larger electric vehicles, is still limited, some focus is being placed on introducing smaller electric vehicles such as electric cargo bikes (E-CBs). The use of these vehicles is currently being discussed as one interesting possibility of configuring urban transport more sustainably (Lenz & Riehle, 2012). E-CBs are seen as having particular potential here, as they enable both greater loads and larger distances than is possible with the purely human-powered cargo bikes, tackling common disadvantages of cycle freight such as range, payload and driver fatigue (Transport for London, 2009). For this reason, there is currently a whole series of projects in Europe testing whether or in what way (electric) cargo bikes can be used in a way that makes economic and ecological sense. Two fleet

trials of cargo tricycles, both in combination with an urban micro-consolidation center, have proven successful in Paris (Dablan, 2011) and London (Leonardi, Browne, & Allen, 2012).

Positive expectations are not universally shared, however. Analyzing the US situation, Giuliano et al. (2013) come to the conclusion that the use of alternative fuels and vehicles for inner-city deliveries is an urban freight strategy with only "low effectiveness" and therefore also only "medium applicability to [the] United States". The differing estimation of the potential of cargo bikes in inner-city courier services doubtless reflects the massive difference between US and European inner-city structures (Le Galès & Zagrodzki, 2006), where E-CB-suitable transport demand might only be similar in limited metropolitan core areas (Conway, Fatisson, Eickemeyer, Cheng, & Peters, 2011).

In all, however, there is hardly any knowledge regarding the potential and conditions of E-CB use in city-center commercial transport today. The European experience shows that a multitude of different conditions are to be taken into account when estimating the potential of cargo bikes. Among these, alongside the technical and infrastructural prerequisites, are the corporate structures on the supply side, the spatial and temporal demand patterns, and also the acceptance of the new transport mode on the part of companies and their drivers and riders. The latter also applies to drivers who currently use regular bicycles or cars for courier services, and thus belong to the group of potential E-CB users.

These various factors and the interactions between them will be described and discussed more closely in the following using the example of urban courier services. Courier services are seen as an appropriate

\* Corresponding author. Tel.: +49 30 67055 200; fax: +49 30 67055 283.  
E-mail address: johannes.gruber@dlr.de, johannes.gruber@hu-berlin.de (J. Gruber).



sector for an in-depth ex-ante evaluation, as they are the most reliable, flexible and expensive segment of CEP (courier, express, parcel) services, operating with small-scale shipments in densely populated urban centers (Glaser, 2000; Maes & Vaneslander, 2012; Witte, Krichel, & Sommer, 2011). The E-CB reference model used – a competitor to the existing markets of bike and car shipments – is a 2-wheel vehicle as pictured in Fig. 1. This type of construction (so called “Long John”), with a cargo box between front wheels and handlebars, is generally favored by messengers for point-to-point shipments compared to tricycles (Riehle, 2012).

The basis for this research is the empirical study of courier companies and individual messengers, with the aim of establishing and gauging the prerequisites and possibilities for integrating E-CBs in available corporate structures and transport services provision, and understanding the role of possible decision-makers concerning vehicle choice.

The article is structured as follows: following this introduction, we describe the data that we have gathered in answering the research question, and the methods we have used in evaluating these data (chapter 2). Chapter 3 contains the initial approximation for determining the potential of E-CBs. To this end, we analyze on the one hand trip patterns which we illustrate using the example of Berlin, and on the other hand the characteristics of the shipments made by the companies studied. In Chapter 4, we consider the current organization of courier services in inner cities; vehicle costs and company organization are at the forefront here. The fifth main chapter looks at the professional background of current bike and car messengers, their awareness of and acceptance of E-CBs, as these are the people who would actually use them. In the process, we observe the influence of socio-demographic factors, current service practices, attitudes and values on the acceptance of cargo bikes. Acceptance is here defined as “willingness to use”. In order to determine the strength of the influencing factors, we have used binary logit models whose results we describe in chapter 6. The article closes with remarks on the implications of this research.

## 2. Research questions, data and methods

This research is guided by the central question of whether there is a potential market for E-CBs (electric cargo bikes) in urban courier services. To answer this question, it is necessary on the one hand to understand the specific structure of shipments that are carried out by bike

or by car; on the other we need to consider the acceptance of E-CBs by the bike and car messengers who would use this new mode. To this end, we have investigated how E-CBs are perceived by potential users (i.e. bike and car messengers), and what motives support or impede messengers' willingness to adopt this mode of transport. Against this background, we have used an approach that relies on a series of various empirical data that we analyzed with descriptive statistical methods and a binary logit model.

Eight German courier companies provided quantitative data for research. All of them are among the three biggest market players in their home cities which are (in rank of size) Berlin, Hamburg, Munich, Düsseldorf, Leipzig, Bremen, Nuremberg and Mainz. The database provided (dataset 1) contains all trip data for one year of business (May 2011 to April 2012) for all modes of transportation, except for 2 companies who applied a regional filter (metropolitan area) before transferring the data (therefore Fig. 2 shows 6 business areas only). 752,334 single shipment distances (3% of the German courier services market, see MRU GmbH, 2012) were used for mapping the companies' spatial extension. A core business area was defined as at least 1 pickup or 1 drop-off per week per zip code.

For an in-depth analysis of courier shipments, one company based in Berlin was selected. The sample for this research was filtered by mode of transport and shipment type. Regarding mode of transport, as an E-CB would be positioned between the markets of regular bicycle shipments and (passenger) car shipments, only these two modes were taken into consideration. Shipments by small utility vehicles (vans) or other vehicles were not considered. In terms of shipment type, like most of the courier companies, two main types of services are offered: point-to-point shipments and overnight deliveries to any national or international destination, where the first and last mile is bridged by messengers. Only point-to-point shipments were considered (84% of all bike shipments and 86% of all car shipments), as overnight trip data records didn't allow a retracing of the messengers' route. Information concerning type, volume or weight of the transported good was partly manually coded into a new variable assessing whether the specific goods are feasible for transport in a typical cargo box on top of a 2-wheel E-CB with a load rate of up to 100 kg (with no parcel more than 25 kg) and a cargo box with a volume of 78 cm × 48 cm × 47 cm (176 l) as pictured in Fig. 1. The final shipment-related data sample contained 59,501 car shipments and 88,391 bike shipments (dataset 2).



Fig. 1. Example picture of a 2-wheel electric cargo bike (E-CB) as used in the project “Ich ersetze ein Auto” by German courier companies. Photo credit: Amac Garbe for DLR.

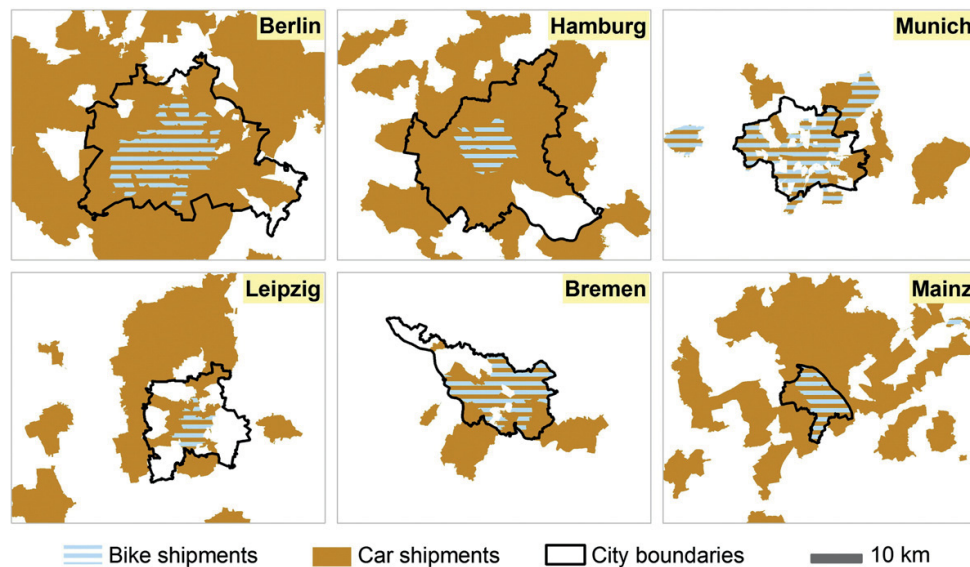


Fig. 2. Core business areas of 6 German courier companies in six major German cities.

In order to aggregate daily mileages from the trip data records, shipments were aggregated to trip chains in a multistep process. Trips had to contain information about origin and destination (OD) addresses (which was geocoded by Nokia Maps) as well as the time stamps of pickup and drop-off. Selected trips were bundled by individual messenger ID and date. Each bundle was then sorted chronologically to retrace the messengers' trip chain, resulting in ordered relations between pickup and drop-off locations. These OD-relations were routed using two road networks of Berlin (one for cars and one for bicycles), generated with OpenStreetMap (OSM) data as of July 2013. Finally, 28,312 single shipments (19%) were able to be transformed into trip chains, forming 2383 daily trip chains by 69 bike messengers and 2607 daily trip chains by 54 car messengers (dataset 3).

In order to gain qualitative understanding of the current organization of courier services, their employment and remuneration structure as well as type, cost and financing of used vehicles, CEOs, dispatchers and messenger supervisors of the eight German courier companies were interviewed in expert and group discussions.

To analyze the messengers' willingness to use an E-CB as a means of transport for their daily courier job, we conducted a survey among all 590 messengers of the eight companies involved in our research project. Between June and October 2012, 191 of them returned our questionnaire sufficiently filled out for detailed modeling, yielding a good return rate of 32%, roughly 8% of the German messenger workforce. For further analysis the sample (dataset 4) was divided into 92 car messengers (stating any combustion engine vehicle as their favorite mode of transport for courier services) and 99 bike messengers (stating bicycles or cargo bikes as favorite mode of transport).

We tested respondents' willingness to use E-CBs in a practical way by asking them if they would like to try one out in their job for three months. To reduce potential bias stemming from hastily considered acceptance or disapproval because of financial ramifications, we did not offer the tryout for free, nor did we charge the full cost; instead, we offered the participation for €35 per month as a compromise between necessary outlay and sufficient attraction.

The survey requested information about the respondents' socio-demographics, attitudes, courier practice and job satisfaction, as well as their assessment of E-CB technology and its potential impact.

To measure these variables' influence on the binary-dependent willingness-to-use variable described above, we employed a binary discrete choice model. This model has been successfully used up to the present day for many acceptance and adoption studies, in areas as diverse as energy (Liu, Wang, & Mol, 2013), agriculture (Mariano, Villano, & Fleming, 2012), land use (Jongeneel, Polman, & Slangen, 2008) and especially transport (Holguín-Veras & Wang, 2011; Ye, Mokhtarian, & Circella, 2012) and technology forecasting (Cheng & Yeh, 2011). Since we have applied the model in a classic and unmodified form, the reader is referred to Ben-Akiva and Lerman (1985) for details on the mathematical foundations.

### 3. The potential market for E-CB

To answer the question of whether a new type of vehicle can be successful in the urban courier logistics market, it is essential to know the structures that are shaped by the demand for bike and car shipments today. This chapter presents the results of a data analysis of courier company trip records. First, the places of demand for bike and car shipments are visualized for 6 German cities, followed by a close-up perspective of central Berlin. Trip-related features such as shipment distance, weight/volume and time are examined for bike and car shipments. Finally, collapsing single trips into daily trip chains gives valuable insights about the necessary electric ranges.

#### 3.1. Distribution of bike and car shipments in urban areas

The possibility of applying E-CBs to courier services depends on the existing structure of shipments and the presently used modes of transport, namely bicycles and cars. The analyzed structure of courier services in German cities is concentrated in densely populated core areas. Fig. 2 maps areas where the courier companies are active at least occasionally, both for shipments by car and by bike (using dataset 1). Also displayed are the city perimeters, covering urban areas between 892 km<sup>2</sup> (Berlin) and 98 km<sup>2</sup> (Mainz).

The area covered by bike messengers ranges from 48 km<sup>2</sup> (Leipzig) to 382 km<sup>2</sup> (Munich) with a mean of 170 km<sup>2</sup>. In Munich, the wider spread of bicycle deliveries is due to messengers using public

transportation with their bike for long distances or living in towns neighboring the metropolitan area. Car messengers are active both in the city center and city outskirts or surrounding neighborhoods. But as the maps in Fig. 2 show in unison, car messengers cover the whole business areas of bike messengers, resulting in a large market overlap. The areas regularly covered by car messengers range from 320 km<sup>2</sup> (Bremen) to 3459 km<sup>2</sup> (Berlin) and have a mean of 1466 km<sup>2</sup>.

Despite the wider areal spread of car shipments, both bike (99%) and car (82%) trips are mostly carried out inside the city perimeter. On a more detailed level, demand for courier shipments is highly concentrated in specific inner-city areas, as the following in-depth analysis of Berlin (using dataset 2) shows.

### 3.2. A case study: Berlin

Berlin is the largest city in Germany by size (3.3 million inhabitants) and area (892 km<sup>2</sup>). Population density varies significantly within the city. In the inner-city area — a low emission zone, surrounded by a circular railway — one million people live on 88 km<sup>2</sup> (112 inhabitants per hectare). On the other hand, some of the outskirts contain large areas of forest or water surfaces and are far less densely populated (28 inhabitants per hectare). A high share of economic activity and traffic is accordingly located within the inner-city area. There are 77,100 places of business (9 sites per hectare), which comprises 46% of all places of business in Berlin (Infas geodaten GmbH, 2011).

Fig. 3 shows the spatial patterns of observed shipments by mode for the inner city of Berlin. 83% of the pickup locations (origins) and 77% of the drop-off locations (destinations) are positioned within the inner city perimeter. Linking origins and destinations, we found out that two thirds of the shipment relations are inside the inner city.

Distinguishing by mode, bike shipments are more concentrated than car shipments: 85% of the bike shipments have origin and destination within the inner city, 11% link areas inside the inner city with other parts of Berlin and 4% of the relations lie completely outside the inner city. Car shipments, on the other hand, consist of 39% inner city relations, 34% inside-outside relations and 28% tangential relations outside the city center.

Still, in large parts of the most important inner city business areas, the markets for the two modes overlap to a high degree. Inner-city demand is concentrated in the “Mitte” borough where many public facilities and business-related services are located. Demand stretches mainly from the former center of East Berlin to the so-called City-West in the neighboring borough of Charlottenburg. Being a polycentric city, however, there are several other attraction points with high densities of offices, retail and healthcare services. Consequently,

almost the whole inner-city area shows an interwoven network of OD-relations. In contrast, a high degree of demand outside the city center arises from singular locations, i.e. warehouses of key account costumers.

### 3.3. Key features of courier shipments: distance, weight/volume, time

Besides this spatial expansion of courier services, we investigated further differences between the two modes and the resulting consequences for potential E-CB use: shipment distance, goods weight/volume and the temporal attributes of courier services demand.

Contrary to express or parcel deliveries, the courier market is characterized by a high share of short-distance trips. Mean distance for bike shipments in Berlin is 5.1 km, against 11.3 km for car shipments. Fig. 4 shows the distribution of distances up to 40 km (99.5% of the sample) for bike and car shipments. Both distributions are positively skewed, i.e. having many cases between 0 km and a certain upper threshold, followed by a decreasing amount of shipments at a variety of longer distances. 92% of the assignments carried out by bikes and 56% of those carried out by cars have 10 km or less shipment distance; 99% of the bike shipments and 87% of the car shipments are shorter than 20 km. It seems reasonable that messengers on an electrically-assisted vehicle such as an E-CB would also accept shipment distances of up to 10 km or 20 km.

Besides shipment distance, the goods' weight and volume might also determine the competitiveness of different modes in courier services. If weight and volume were the only limiting factors, all bike shipments and 85% of the car shipments could be carried by E-CBs with a cargo box of 176 l, as shown in Fig. 1.

Assuming a maximum shipment distance threshold at 10 km, and only taking into account goods that fit by weight and volume into the cargo box, the technical potential of E-CBs can be derived: 42% of the car shipments would be substitutable by E-CBs. This share accounts for 19% of the mileage that is today generated by cars. A threshold of 20 km maximum shipment distance would extend this potential to 68% of all car shipments and 48% of the resulting mileage.

Courier shipments might underlie specific temporal constraints as companies allow their clients to specify a precise delivery window. 12% of the bike shipments and 18% of the car shipments are labeled as time-sensitive in this sense. Motorized modes of transport might therefore be seen as more trustworthy when it comes to meeting precise delivery windows. Interestingly, the mean cruising speeds of the two modes differ only slightly: 17.3 kph for car shipments and 15.9 kph for bike shipments. As pedal electric vehicles (Pedelects) are allowed to be electrically assisted up to 25 kph, it seems possible that a similar

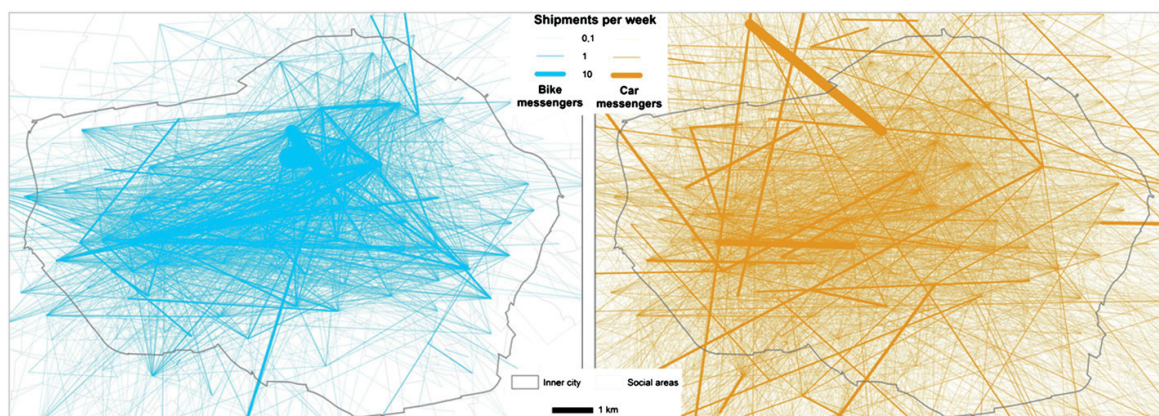


Fig. 3. OD-relations of courier shipments by bikes and cars in central Berlin.



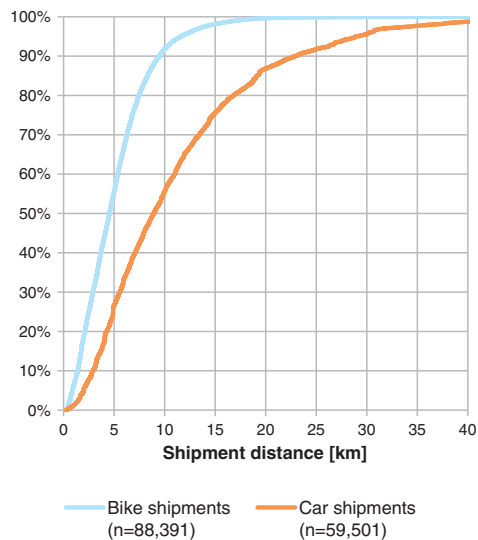


Fig. 4. Bike vs. car shipments: cumulative frequencies of single shipment distances.

cruising speed can be achieved by E-CBs to meet the markets' temporal constraints.

One obvious difference between car and bike is the exposure to weather. However, we found no substantial fluctuations concerning the amount of car and bike shipments and especially their difference throughout the year. Similarly, demand for bike and car shipments runs very much in parallel throughout the day. For users of the inner-city road network, traffic hours may be relevant in selecting the best mode of transport. However, during the most congested times (week-day rush hours from 6 to 9 a.m. and 4 to 6 p.m.) when cars might be disadvantaged due to many commuters, only one sixth of bike and car shipments takes place. The main business hours for bike (82%) and car (79%) messengers are regular office hours and the time after the evening rush-hour, when the road network has a medium usage (weekdays 9 a.m.–4 p.m. and 6–8 p.m.). Weekend deliveries are negligible for practical purposes.

#### 3.4. Duration and daily mileages of courier trip chains

As seen above, bike messengers deliver goods over a shorter distance than car messengers which allows them to manage more shipments per day. Using dataset 2 (single trips), the mean number of shipments per day by bike messengers is 9.4 and 6.4 by car messengers, respectively. In the following results from dataset 3 (aggregated trip chains) will be used. Here we observed smaller means: 6.4 daily shipments for bike messengers and 5.0 for car messengers, respectively. This is due to the exclusion of trip chains without complete information on all trip attributes when aggregating from dataset 2 to dataset 3.

Independent of that the quantity of daily assignments in courier services is much smaller than usual figures in the parcel segment, where delivery tours can contain up to 200 parcels (Schumacher, 2012). This is due to the types of flows (point-to-point shipments vs. round trips) and the employment structure. While parcel delivery companies often operate with full-time employed drivers, a broad range of working times is common in the freelance-dominated courier market: one quarter of the bike (car) messengers work less than 2.9 (2.6) hours per day, while another quarter of the bike (car) messengers work more than 7.0 (7.3) hours per day. The mean aggregated time for daily trip chains is 5.3 h for both modes. These values exclude the additional ways from home to the first pickup and homewards after the last delivery. There

is a large variety in daily mileages, too. We observed a range of 1–166 km for bike trip chains (mean: 42 km) and a range of 1–253 km for car trip chains (mean: 66 km). 90% of the daily distances that performed by bicycles lie between 0 and 75 km in an almost uniform distribution (see Fig. 5).

It is important to consider daily mileages as this allows an assessment of which electric range would be best-suited for E-CBs in courier services. While the achievable electric range of E-CBs varies by many factors such as battery size, number of stops, degree of acceleration, physical support by the messenger, topography and payload, typical values currently aimed at by manufacturers are between 50 and 100 km. Fig. 5 shows that 62% (99%) of the bike trip chains and 42% (78%) of the car trip chains are below 50 km (100 km) and would therefore be manageable by E-CB.

Even though the analyzed deliveries are “point-to-point shipments”, only 57% of the total mileage is generated by transporting exactly one shipment from origin to destination. The rest of the mileage is generated by idle trips, i.e. a bridging distance without transporting any shipment (21%) or combining several assignments by transporting 2 or more shipments at the same time (22% of total mileage). Surprisingly, these numbers don't vary by mode: car messengers do not transport a higher number of shipments simultaneously than bike messengers. Hence the amount of payload seems to be of minor importance for the bundling of shipments.

#### 4. Courier logistics organization today

After the analysis of the market structure for urban courier services, this chapter offers a brief look into the operational management of how regional companies perform these services. To assess the potential of E-CBs for urban freight, we consider their cost and competing modes. Furthermore, the employment structure, pricing of courier services and dispatching of shipments to certain messengers need attention, as these processes might have an influence on the viability of E-CB implementation.

##### 4.1. Vehicle cost

As seen above, E-CBs are most likely to penetrate a market located between bike and car shipments. In inner-city areas there is a fluent

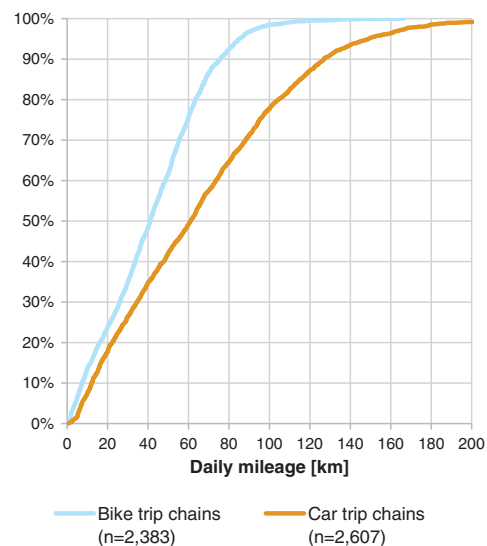


Fig. 5. Bike vs. car shipments: cumulative frequencies of aggregated daily mileages.

transition between these two vehicles' markets, which overlap to a large extent. For logistics service providers, the cost of vehicles obviously is an important factor. Full-time bike and car messengers were therefore asked about the typical cost and form of acquisition, and the expenses for maintenance and fuel of their vehicles. This was contrasted with a finance model for a currently available 2-wheel E-CB. Table 1 compares the three modes and allows a rough evaluation of the vehicle-triggered operating costs for vehicle owners.

While the cost of using bicycles and E-CBs for messenger shipments is naturally negligible concerning fuel costs, for car owners this is a significant part of their calculation. Following Table 1, an annual mileage of 10,000 km would add up to operating costs of €1480 for bicycles, €3915 for E-CBs, and €7050 for cars. Both cars and E-CBs have to deliver more goods or over longer distances in order to reach a break-even point. The income opportunities are mostly triggered by the number of shipments and shipment distance, as we will show in the following chapter.

#### 4.2. Courier companies' operational management

While the courier segment accounts for 10% of all German CEP shipments (total: 2.5 billion shipments annually), its share in turnover is substantially higher, namely 22% of the total CEP turnover (€17.8 billion, MRU GmbH, 2012). How is this business organized? Besides nationwide operators, there is a high quantity of regionally operating courier companies. It is important to understand their everyday business in order to identify possible drivers and barriers for the establishment of a new vehicle. The key features of this industry can be summarized as follows:

- **Company size and background:** most regionally operating courier companies are micro entities (less than 10 employees) or small companies with 10–50 employees. The associated number of messengers, however, can be multiple times the number of employees. In this business, it is quite usual that members of middle and upper management or dispatchers have started as messengers themselves. All eight companies were founded in the beginning of the 1990s and suffered a significant downturn with the upcoming digitalization in the 2000s. Today, new markets are expanding, i.e. in healthcare and value-added logistics.
- **Employment:** the CEP market is an employment-intensive industry. Different estimations about the total number of employed/freelance persons within Germany lie between 188,000 (BIEK (Bundesverband Internationaler Express-und Kurierdienste) e.V., 2013) and 254,000 (MRU GmbH, 2012). The employment structure is complex and depends on subcontractors. Estimates for the couriers within CEP services put the number of car messengers in Germany at about 19,000 and the number of bike messengers at about 4500–5000. The majority of messengers of the eight analyzed courier companies work as freelancers.
- **Remuneration:** in the most self-organized form, messengers generate their earnings solely by trip revenue, while the courier company keeps a fee of between 25% and 40%. The company serves as a broker and deals with all customer affairs. The fee share might vary by mode (some companies offer their car messengers a fuel surplus), by experience, monthly revenue, willingness to do off-hour shifts, etc. Some

companies have mixed models with basic income plus provision-based payment.

- **Assets:** vehicles are largely owned by individual messengers. Only one company owns a car fleet, while some companies have a small number of light commercial trucks which are rented out to messengers for specific tours.
- **Pricing:** most commonly the price for a courier service depends on the mode desired by the customer, which determines the size of a base fee (often including 1–2 km) and variable cost by extra km. Surpluses apply for specified delivery windows, waiting time, off-hour-pickups, unusual goods, etc. One company uses fixed cost by zip code relation and mode. We found a certain degree of smooth transition between the priced mode and the actual one, as messengers are allowed to accept deliveries regardless of the mode desired by the customer. In Berlin, 26% of the shipments with bicycle-pricing were actually transported by car. Vice versa, 14% of the car-priced shipments were done by bike messengers.
- **Customers:** almost all demand is B2B, as courier service is too pricy for most B2C needs. In Berlin, clients from five sectors account for 84% of the shipments of the company studied: media/arts (31%), general services (18%), health (12%), business-oriented services (12%) and banking/insurance (11%). Partly, there is a high dependency on key accounts, which, reciprocally, often rely heavily on the courier companies' expertise, as the businesses have grown together.
- **Order acceptance:** orders are almost exclusively made by phone. While taking the order, either the customer desires a certain vehicle type or the call center agents makes a suggestion based on information about the type of shipment. However, in certain cases there is no knowledge on the type of good.
- **Dispatching of shipments:** a common form is an "open radio", where dispatchers call out the new shipment (i.e. by zip code relation) and messengers agree to the orders in a first-come first-serve principle (pull-allocation). Other orders are distributed directly (push-allocation). Sometimes whole areas are designated to certain messengers. Larger companies use several radios for different modes or IT solutions.

Generally, we discovered a market where structures evolve gradually and sometimes lack strategic management. Some companies started only with bike shipments and had to implement larger vehicles, especially as the importance of documents and media transports decreased drastically and goods became heavier. E-CBs can be a possibility to lower fuel and maintenance cost and still be able to transport heavier goods. This would allow better pricing structures and an advantage against competitors.

Acting innovatively is often seen as part of the urban self-image of courier companies. Hence they seem willing to implement new technology or adapt to customer demand. In order to achieve this, a new type of vehicle like an E-CB must be taken into account during the whole operational process. Existing customers might need specific information on this mode of transportation or new, eco-friendly customer groups could be targeted. Call center agents and dispatchers need briefing about the capabilities of the vehicle (e.g. payload). Parking spaces and charging infrastructure should be provided.

In the end, however, as long as courier companies do not operate with their own fleets, they can only pave the way for messengers' choice of using E-CBs or other modes of transport.

**Table 1**  
Common costs for purchase, maintenance and fuel for vehicles used in courier services.

	Reference	Bike	E-CB	Car
Purchase costs	One-time	€1000	€0	€0
Leasing (down payment)	One-time	€0	€1500	€0
Leasing (fee)	Monthly	€0	€100	€300
Insurance	Monthly	€0	€10	€80
Maintenance	Monthly	€10	€50	€80
Spare parts	Monthly	€30	€40	€40
Fuel	Per 100 km	€0	€0.15	€10.50

#### 5. E-CB acceptance: the messengers' perspective

Individual messengers can be seen as a good proxy for the general acceptance of the courier market towards E-CBs. In fact, they have the highest influence in the type of vehicle used, as they use their own vehicles most of the time. Hence we find it important to understand this potential user group, its attitudes towards E-CBs and what drives them to actually implement these vehicles in their job.

### 5.1. Socio-demographics of surveyed messengers

While the job of messenger is clearly favored by men (93%), the business shows no dominating age group. 88% of the respondents are between 23 and 55 years old. Over this main age range we found an almost uniform distribution. Outside of it, the small tails span to 18 and 80 years.

The sample analyzed (dataset 4) contains both veterans and beginners of the business: 35% have been working as a messenger for more than 10 years, 13% started less than a year ago. Along the heterogeneous age distribution there is also heterogeneity of career paths previous to the recent job as messenger. About one third of the sample, mostly bike messengers, entered straight after university, high school or their apprenticeship, another third worked in a qualified profession in another branch of industry. Some changed from unskilled labor or unemployment into the courier business, while only 10% had already been working as messengers before.

About half of the respondents earn net wages between €1001 and €2000. Thirty-seven percent achieve a lower income (up to €1000 net wage), and 11% reported net wages above €2000. The respondents have a higher educational level than the German population average (Destatis, 2013) and the degree of high school graduates (64%) is more than twice the share of all Germans 15 years and older. Since all respondents work for the 8 participating urban courier companies, they all live in large cities with more than 200,000 inhabitants.

When differentiating between bike messengers and car messengers, we find two very distinctive groups. Bike messengers are younger than car messengers (mean age = 35.3 vs. 48.2 years), less male-dominated (90% vs. 96%) and more highly educated (81% graduated at least from high school vs. 50%). However, only 4% of the bike messengers achieve a net income of 2001 € and more (vs. 23% of the car messengers). This might be associated with the higher degree of part-time workers and the more usual habit of having another profit-oriented activity besides the messenger job.

### 5.2. Current vehicles and professional practices

Due to the high dependence on their transportation means and their high presence in densely populated urban areas, messengers can be seen as pioneers of commercial vehicle use. Accordingly, 91% of the respondents stated that they are interested in vehicle technology. In order to assess their perception of E-CBs, it is important to understand what types of vehicles they are currently using for courier services. Professional practices and routines might influence the will to adopt a new mode of transport.

Respondents were asked about their preferred mode of transport on duty, where 52% stated a vehicle without combustion engine (46% bicycle and 6% regular cargo bike). This group is referred to as bike messengers in this research. Forty-eight percent of the respondents stated a combustion engine vehicle as their favored mode of transportation (30% mid-sized car/light commercial vehicle, 9% small-sized car and 9% SUV/transporter). These respondents were grouped as car messengers. The engines of car messengers are mostly powered by diesel (64%), followed by gasoline (25%) and CNG/LPG (10%). The mean age of their vehicles is 6 years.

It does not seem unusual for bike messengers to occasionally use a car for some transport tasks: 14% have used a car during the last year at least once. Regarding E-CBs, despite the fairly high rate (9%) of messengers that have already tested one for their work during the last year, only 2 respondents (1%) own it. Regular cargo bikes are used by 21% and owned by 7% of the respondents.

The most common ownership (91%) is to use self-owned vehicles; while all bike messengers own their vehicle, 12% of the car messengers use vehicles that they don't personally own (company fleet).

Over one third of the messengers visit their courier company's site several times a day. This fact could indicate that the necessary recharging periods for E-CB, i.e. during the night, are easily adaptable

to everyday routines. Currently only a minority of 6% also park their vehicle at the establishment site after duty, the rest choose parking spaces close to home in private or public parking spaces.

For most messengers, almost equally for bike and car messengers, it is possible to combine several shipments, either by pull- or push-assignment.

### 5.3. Messengers' awareness of and attitudes towards E-CBs

In our survey, messengers of both types were confronted with statements about E-CBs in order to assess the awareness of this mode of transport and the possible users' attitudes towards it. Fig. 6 shows the statements of bike and car messengers.

Generally, messengers see a high potential for E-CBs in their actual urban surroundings. About 60% of both bike and car messengers "strongly agree" to this statement. A similar majority also sees E-CBs as a contributor to environmental protection.

Unity between these two groups also holds true for the item with the lowest rate of agreement: only one third of the sample stated that there is sufficient information available on E-CBs and their use. This may be a hint for the possible success of awareness campaigns.

As described above, E-CBs are likely to be positioned between the present markets for bike and car shipments. It is yet to be seen which market will be penetrated more greatly. When asked whether messengers on E-CBs would take over bike or car shipments, we find an almost mirrored perception. Both subgroups tend to see their non-preferred mode of transport challenged by E-CBs.

Finally, about half of the sample either agrees or strongly agrees that E-CBs will be successful in courier logistics services and will have their future place in this business.

### 5.4. Possible interactions with job-related features

Naturally, the type of vehicle used to carry shipments is a profound feature of a messengers' job. Changing to another vehicle might therefore interfere with the persons' job image. It is critical to know what job-related indicators are important for the decision to work as a messenger today and which of these dimensions would change when switching to an E-CB.

Both bike and car messengers found flexibility and having one's own time management a very important aspect about their job (84%). Otherwise, the 2 groups have different profiles:

- For bike messengers, the possibility of doing exercise while working is of high importance (87%). Further important aspects are variety from day to day (69%), contact with people (67%), ecological footprint of their job (65%) and direct contact with clients (63%). They are less interested in the amount of income (importance: 42%), their job's image (37%) or a long-term job perspective (27%).
- For car messengers, income is a more important aspect (76%), whereas the jobs' ecological footprint (30%) and the possibility of doing exercise while working (26%) are seen as the least important features.

To anticipate possible interactions between mode change and job satisfaction, messengers were asked whether switching from their present vehicle to an E-CB would improve or reduce their satisfaction with job-related features. Both user groups see a slight decline in their satisfaction with the most important aspect (flexibility/time management), possibly due to the higher need to plan recharging and parking of the vehicle. Otherwise, again, we see differing assessments of E-CBs:

- Bike messengers expect a more satisfactory income and a slight decrease in the possibility of doing exercise while working. They don't see a deteriorating ecological footprint by using an E-CB.
- Car messengers see a change to E-CB as having a negative effect on their income. Technically, they would see E-CB as a chance to be less disappointed with their job's ecological footprint and to have a

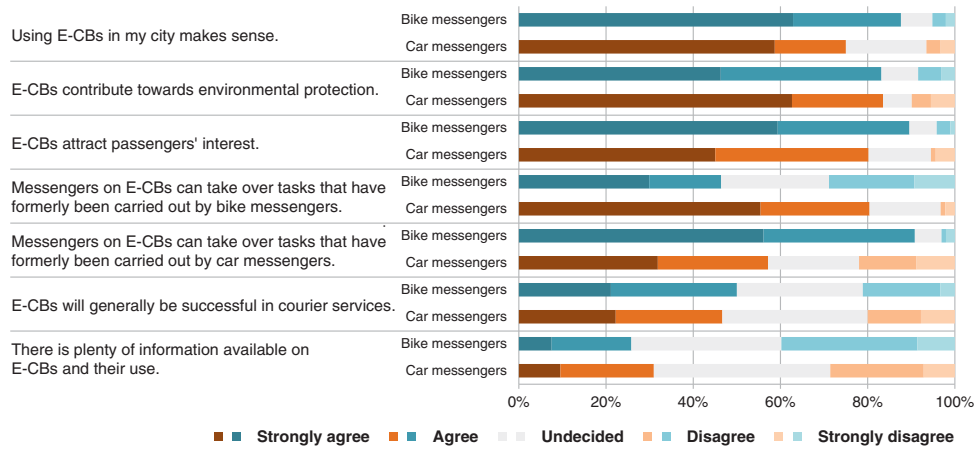


Fig. 6. General assessment of the usability of E-CBs (n = 188).

possibility of doing exercise while working. However, as these points have been pointed out as the least important job-related features, and income remains a main job-related feature, it appears highly doubtful that ecological or physical dimensions would motivate car messengers to switch to an E-CB.

## 6. Willingness to use an E-CB

### 6.1. Model results

Would messengers actually change to an E-CB as their preferred vehicle of transportation? 111 of the 191 surveyed messengers (58%) showed interest in using an E-CB for their job and could therefore be described as willing to use an E-CB. This attitude was not only expressed

by bike messengers (72%), but also by 43% of the car messengers which demonstrates a general openness of both user groups for this mode of transport.

Next to the differentiating in bike and car messengers, which is customary in the industry, all of the above-mentioned descriptive variables on demographics, job practices and job-related features, and attitudes and values were tested as to whether they contributed to predict messengers' willingness to actually use an E-CB for their services. For the important variables, Table 2 shows the comparison of means by messenger group as well as a binary logistic regression on the willingness-to-use E-CB as a dependent variable.

Note that the somewhat arbitrary specifications are the result of extensive trials to derive a theory-consistent model of significant influencing factors while minimizing spurious correlation and multicollinearity.

**Table 2**  
Variables that influence a messengers' willingness to use an E-CB instead of their present vehicle for courier services. Binary logit regression.

	Means		Logistic regression models					
	Bike messengers	Car messengers	M1		M2		M3	
			Coeff.	(p)	Coeff.	(p)	Coeff.	(p)
Socio-demographics								
Age	35.32	48.21	−0.04	(0.00)	−0.05	(0.01)	−0.04	(0.04)
Sex: female	0.10	0.04	−1.18	(0.06)	−1.63	(0.04)	−0.80	(0.34)
Net income: >€2000	0.04	0.23	−0.94	(0.06)	−1.13	(0.05)	−1.56	(0.02)
Educational level: low/medium	0.19	0.50	−0.93	(0.01)	−1.36	(0.00)	−1.36	(0.00)
Professional practices								
Car ownership	0.24	0.88			−1.46	(0.01)	−1.52	(0.01)
Car use for courier service	0.14	1.00			1.03	(0.07)	1.34	(0.05)
Preference for cargo bikes	0.12	0.00			2.39	(0.04)	2.28	(0.07)
Several visits daily at company	0.41	0.28			0.90	(0.04)	0.81	(0.08)
Combining of shipments possible	0.97	0.91			1.17	(0.00)	1.41	(0.00)
Further profit-oriented activity	0.36	0.24			0.78	(0.07)	0.84	(0.07)
Interested in vehicle technology	0.87	0.95			2.39	(0.00)	2.45	(0.00)
Attitudes and values								
"There is plenty of information available on E-CBs." (I strongly agree.)	0.07	0.09					1.74	(0.06)
"E-CBs attract passengers' attention." (I strongly agree.)	0.58	0.45					0.93	(0.04)
"The possibility of doing exercise while working is important."	0.87	0.26					1.21	(0.02)
"The image of my job is not important."	0.37	0.35					1.00	(0.03)
"I am dissatisfied with the ecological footprint of my job."	0.02	0.28					1.37	(0.03)
N	99	92	191		191		191	
Constant			2.75	(0.00)	0.04	(0.97)	−2.27	(0.06)
Pseudo R <sup>2</sup> (McFadden)			0.12		0.30		0.39	
Log likelihood			−114		−91		−79	
Hit ratio			67%		76%		81%	

We intentionally did not include the messengers' current mode of transport (car vs. bike) into the model for two reasons: First, this information is obviously correlated with other possibly powerful predictors (see comparison of means). Second, when integrating them as additional predictors to the presented specification, they do not contribute to explaining further variance. When comparing the coefficients, one can observe a general tendency of higher willingness-to-use if a predictor lies closer to the bike messengers' mean, but there are important exceptions: Gender, professional car usage, interest in technology and information awareness raise the probability if they lie closer to car messengers' mean values, while shipment combination and job image show a strong positive effect despite their low difference between the two groups' means.

In the first model (M1), only classic socio-demographic variables were considered: age, sex (base: male), income and educational level. All four variables show a negative connection with the messengers' willingness-to-use E-CBs. It decreases significantly with the increasing age of the messenger, in female messengers, in messengers with high income and in those with a low or medium educational level.

In order to achieve higher accuracy, model M2 adds seven variables on job-related background and practices.

Car ownership — independent of whether or not a car is used as a mode of transport for courier services — has a strong negative influence on the dependent variable (willingness to use an E-CB). Messengers that actually use cars for their services regularly seem to be more prepared to use an alternative mode of transport. The minority of messengers that today already prefer (non-electric) cargo bikes show a very high sympathy for E-CBs. A similar degree of sympathy is also expressed by messengers that claimed to be interested in vehicle technology.

Thirty percent of the respondents pursue at least one other profit-oriented activity besides their job as a messenger. This group has a more positive attitude towards E-CBs, possibly because of a lower income pressure. We found two more influencing job-related practices: bundling shipments and frequent visits to the site of the courier company.

E-CBs show higher requirements regarding parking and recharging infrastructure than bicycles or (conventional) cars. For the period of the field trial the courier companies provided space on their sites. This fact might be the reason why messengers that already visit the site of their employer at least once a day are more likely to use E-CBs.

Besides socio-demographics and professional practices, the most comprehensive model M3 adds five variables on attitudes and values that have been collected during the messenger survey. M3 delivers the highest hit ratio (81%) to predict the willingness to use E-CBs. There is a strongly positive association towards E-CB use among respondents that assess existing information on E-CBs as sufficient, raising the importance of awareness campaigns. Several of the above-mentioned job-related indicators also showed significant associations. Messengers

who find it important to have the possibility of doing physical exercise during their job stand in favor of E-CB use. The same holds true for the subgroup of messengers that do not find the image of their job an issue of importance. Interestingly, drawing attention from people on the street has nonetheless a positive effect on E-CB adoption. Finally, 15% of the respondents are dissatisfied with the ecological footprint of their job. This attitude is quite strongly associated with the will to switch to an E-CB.

All three models consist of significant coefficients, indicated by the corresponding p-values.

As mentioned above, several further dimensions proved no significant association with the measured willingness-to-use E-CBs, among them, the specific courier company of the respondents, their degree of experience in this job, the preferred type of vehicle parking, and, interestingly, also the annual driven mileage. Thus the assessment of this mode of transport is made in relative independence of one significant cost factor. Indirect influence, however, might be observed in the significant variables of income and further profit-oriented activities.

## 6.2. Vehicle assessment

In a final step we asked all messengers that expressed their interest in using an E-CB for their job to assess the importance of 13 vehicle-specific characteristics. A picture and the technical details of the 2-wheel E-CB pictured in Fig. 1 were given as input. After asking about general importance, these aspects were rated in their anticipated practicability (respondents stated that they had "no doubt" about a specific feature, e.g. speed).

Bike and car messengers show a similar assessment of these items, therefore their joint statements are pictured in Fig. 7.

A prominent exception is electric range, which at the same time is one of the most important features. For car messengers, electric range is more important (79% vs. 66%) than for bike messengers. At the same time, they find the electric range less likely to be suitable for their needs (19% vs. 37%). The electric range can be an advantage for driving comfort. At the same time, however, as batteries are a costly component, the electric range might be a potential obstacle for the acquisition of an E-CB as purchase price is the item that is seen as the most critical. A trade-off between electric range and purchase price can be a barrier to a quick diffusion among messengers.

Car messengers also expressed more doubts about theft protection and payload. More unity between both groups was found for other vehicle-related topics such as convenient handling while driving and general vehicle safety (e.g. stability of frame) or speed. All these aspects are relevant for a purchase decision and rated with a high degree of suitability. E-CBs are largely seen as being environmentally friendly. Charging infrastructure at home or out and about and acceptance

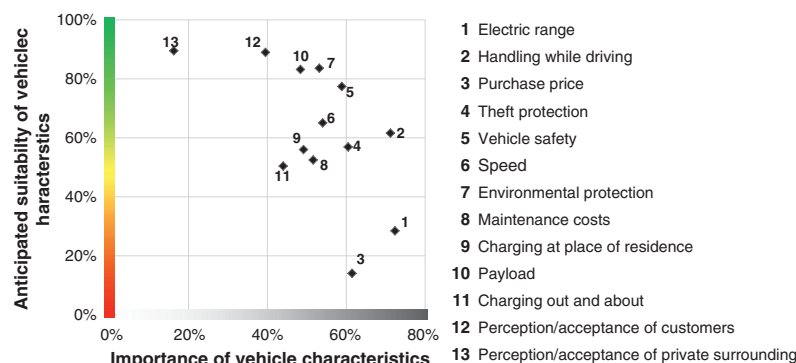


Fig. 7. Relevant characteristics of E-CBs (n = 127).



by customers and peers are aspects of minor importance and good suitability.

## 7. Research implications

While courier services are a small segment compared to other logistics segments, we find a substantial amount of demand for these high-quality transport services, especially in urban core areas with high economic strength. During daytime bike or car messengers are a common picture on European inner city streets. Car and bike messengers are in direct competition, as their markets largely overlap – spatially, temporally and by type of goods. A car's maximum payload is rarely needed for small-scale deliveries such as media products, documents, spare parts or laboratory samples.

E-CBs are an innovative mode of transport that could be used for courier shipments. As they are positioned between bikes and cars in terms of cost, payload and range, a potential market does exist. It is most likely that E-CBs will have their greatest potential in urban areas, successfully facing problems like congestion and limited access areas due to environmental zones or delivery period restrictions. It is yet to be seen which of the existing markets for bike and car shipments will be penetrated by E-CBs, or even if a new market for this specific vehicle can evolve. Further research might answer in how far E-CB use will be fostered by general trends in the CEP market like the growth of B2C deliveries, micro-consolidation or the demand for high-quality logistics services such as same day delivery.

Regional courier markets are characterized by small and medium companies where structures evolve gradually. Keeping old routines (i.e. for pricing or dispatching) can be barriers for a dissemination of E-CBs. On the other hand, innovators have a possibility to stand out from the logistics mass markets by targeting new customer groups, implementing cargo bikes in their operational management or even investing in their own E-CB fleet.

Today, vehicle choice is made in a decentralized manner by individual messengers who work as freelance subcontractors for courier companies. Their assessment can be seen as a good proxy for general E-CB-acceptance in this industry. While certain characteristics are highly alike among messengers (predominantly male, technology-oriented, high demand for job flexibility), we detected heterogeneity regarding other dimensions such as age, educational and professional background, working hours, attitudes towards environment and exercise, but certainly also the preferred mode of transport.

The overall positive anticipation of the suitability of E-CBs for courier services differs only little between bike and car messengers. A majority regard this vehicle type as highly competitive for delivery tasks in their specific urban surroundings, which include 7 of the 15 biggest German cities. Furthermore, messengers see E-CBs as an opportunity for generating public attention (and possibly new customers) and contributing towards environmental protection.

Producers of E-CBs should be aware that messengers see a deficit in information. In line with most other current research, electric range and purchase price are seen as the main areas of concern. These doubts of a pioneer user group like messengers could slow down quick E-CB diffusion.

Unlike in other branches of commercial transport where mode choice is the result of highly optimized processes, in courier services different modes compete in a very similar market and personal dimensions such as socio-demographic background or lifestyle influence the decision for a certain vehicle.

If E-CBs are to make a contribution to a more-sustainable urban transport, future research will have to show which conditions,

incentives or regulations are needed to motivate their use by operators and drivers.

## References

- Ben-Akiva, M., & Lerman, S. R. (1985). *Discrete choice analysis: Theory and application to travel demand*. Cambridge, MA: MIT Press.
- BIEK (Bundesverband Internationaler Express- und Kurierdienste) e.V. (2013). Motor für Wirtschaftswachstum und Beschäftigung – Die Kurier-, Express- und Paketbranche in Deutschland. [http://biek.de/index.php/dokumente.html?file=tl\\_files/biek/downloads/papiere/BIEK%20KEP%20Studie%202013%20klein.pdf](http://biek.de/index.php/dokumente.html?file=tl_files/biek/downloads/papiere/BIEK%20KEP%20Studie%202013%20klein.pdf) (accessed September 19, 2013)
- Browne, M., Piotrowska, M., Woodburn, A. G., & Allen, J. (2007). Literature review WM9: Part 1 – Urban freight transport, carried out as part of work module 1, Green Logistics project. *Green Logistics Report*. University of Westminster.
- Cheng, Y., & Yeh, Y. (2011). Exploring radio frequency identification technology's application in international distribution centers and adoption rate forecasting. *Technological Forecasting and Social Change*, 78(4), 661–673.
- Conway, A., Fatisson, P., Eickemeyer, P., Cheng, J., & Peters, D. (2011). Urban micro-consolidation and last mile goods delivery by freight-tricycle in Manhattan: Opportunities and challenges. *Conference proceedings, Transportation Research Board 91st Annual Meeting 2012*.
- Dabanc, L. (2011). Transferability of urban logistics concepts and practices from a world-wide perspective – Deliverable 3.1 – Urban logistics practices – Paris case study. TURNBLOW\_WW Project. [http://89.152.245.33/DotNetNuke/Portals/Turblog/DocumentosPublicos/CaseStudies/TURBLOG\\_D3.1ParisFV.pdf](http://89.152.245.33/DotNetNuke/Portals/Turblog/DocumentosPublicos/CaseStudies/TURBLOG_D3.1ParisFV.pdf) (accessed: August 2, 2013)
- Destatis (2013). Bevölkerung nach allgemeinen und beruflichen Bildungsabschlüssen 2012. <https://www.destatis.de/DE/ZahlenFakten/GesellschaftStaat/BildungForschungKultur/Bildungsstand/Aktuell.html> (accessed September 20, 2013)
- Giuliano, G., O'Brien, T., Dabanc, L., & Holliday, K. (2013). *NCFRP Project 36(05) synthesis of freight research in urban transportation planning*. Washington D.C.: National Cooperative Freight Research Program.
- Glaser, J. (2000). *Kurier-, Express-, Paketdienste und Stadtlogistik. Analysen und konzeptionelle Ansätze zur Gestaltung des städtischen Güterverkehrs am Beispiel der Kurier-, Express- und Paketdienste (KEP-Dienste) in Hamburg*. (Munich).
- Holguín-Veras, J., & Wang, Q. (2011). Behavioral investigation on the factors that determine adoption of an electronic toll collection system: Freight carriers. *Transportation research part C: Emerging technologies*, 19(4), 593–605.
- Infas geodaten GmbH (2011). *Corporate location data base*. (Datenstand 12/2011).
- Jongeneel, R. A., Polman, N. B. P., & Slangen, L. H. G. (2008). Why are Dutch farmers going multifunctional? *Land Use Policy*, 25(1), 81–94.
- Le Galès, P., & Zagrodzki, M. (2006). *Cities are back in town: The US/Europe comparison*. Cahier Européen numéro 05/06 du Pôle Ville/métropolis/cosmopolis. Paris: Centre d'Etudes Européennes de Sciences Po.
- Lenz, B., & Riehle, E. (2012). Bikes for Urban freight? – Experience for the European case. *Conference proceedings, Transportation Research Board 92th Annual Meeting 2013*.
- Leonardi, J., Browne, M., & Allen, J. (2012). Before-after assessment of a logistics trial with clean urban freight vehicles: A case study in London. *Procedia – Social and behavioral sciences*, 39, (pp. 146–157).
- Liu, W., Wang, C., & Mol, A. P. J. (2013). Rural public acceptance of renewable energy deployment: The case of Shandong in China. *Applied Energy*, 102, 1187–1196.
- Maes, J., & Vaneslander, T. (2012). The use of bicycle messengers in the logistics chain, concepts further revised. *Procedia – social and behavioral sciences*, 39, (pp. 409–423).
- Mariano, M. J., Villano, R., & Fleming, E. (2012). Factors influencing farmers' adoption of modern rice technologies and good management practices in the Philippines. *Agricultural Systems*, 110, 41–53.
- MRU GmbH (2012). Der KEP-Markt in Deutschland. Hamburg. <http://bdkep.de/dokumente/studie/2012kurzstudie.pdf> (accessed September 20, 2013)
- Riehle, E. (2012). Das Lastenfahrzeug als Transportmittel für städtischen Wirtschaftsverkehr. Eine Untersuchung europäischer Beispiele zur Abschätzung von Rahmenbedingungen und Potenzialen für deutsche Städte. Dortmund: Transport Systems and Planning, Technical University Master's thesis in the subject area.
- Schumacher, P. (2012). Deutsche Post DHL. Pro Tag 15000 Pakete und Päckchen. Bonner Rundschau. <http://www.rundschau-online.de/bonn/deutsche-post-dhl-pro-tag-15-000-pakete-und-paechchen,15185502,2153024.html> (accessed February 27, 2014)
- Cycle freight in London: A scoping study. Transport for London (Ed.). (2009). London: Mayor of London (<http://www.tfl.gov.uk/assets/downloads/businessandpartners/cycle-as-freight-may-2009.pdf>, accessed: August 23, 2013).
- van Duin, J. H. R., Tavasszy, L. A., & Quak, H. J. (2013). Towards E(lectric)-urban freight: First promising steps in the electric vehicle revolution. *European Transport/Trasporti Europei*, 54(9).
- Witte, C., Krichel, P., & Sommer, C. (2011). Verlagerung des Lieferverkehrs auf Fahrradkuriere – Methode und Ergebnisse einer Potenzialstudie. Clausen, U.: *Wirtschaftsverkehr 2011 Modelle - Strategien – Nachhaltigkeit* (pp. 158–170) (Dortmund).
- Ye, L., Mokhtarian, P. L., & Cirrella, G. (2012). Commuter impacts and behavior changes during a temporary freeway closure: The 'Fix I-5' project in Sacramento, California. *Transportation Planning and Technology*, 35(3), 341–371.



The 9th International Conference on City Logistics, Tenerife, Canary Islands (Spain), 17-19 June 2015

## Reject or embrace? Messengers and electric cargo bikes

Johannes Gruber, Alexander Kihm

*Deutsches Zentrum für Luft- und Raumfahrt (DLR = German Aerospace Center),  
Institute of Transport Research, Rutherfordstrasse 2, 12489 Berlin, Germany*

---

### Abstract

One of many approaches to react to the challenges faced by urban freight can be the introduction of electric cargo bikes as an environmentally friendly mode of transport for courier deliveries. Since this market consists of highly decentralized decision-making structures, it is important to characterize the individuals involved and their perceptions in order to estimate market potentials and identify barriers to market uptake. To achieve this goal, we use information from a nationwide survey to draw a picture of the messengers involved as well as to model a binary decision of innovation rejection. The results indicate a group of people close to the general population but with certain particularities regarding gender, education and work style. Their attitudes towards technology are rather positive but their actual adoption of electric cargo bikes shows a much more heterogeneous pattern based on socio-demographics, job circumstances and personal characteristics.

© 2016 The Authors. Published by Elsevier B.V. This is an open access article under the CC BY-NC-ND license (<http://creativecommons.org/licenses/by-nc-nd/4.0/>).

Peer-review under responsibility of the organising committee of the 9th International Conference on City Logistics

**Keywords:** courier logistics; electric cargo bikes; technology adoption; binary logit

---

### 1. Introduction

Like every other area of passenger and goods transport, urban freight is facing the challenges of ever-growing demand and increasing scrutiny towards its negative externalities. Local and climate emissions, noise and safety are becoming the focus of a search for improvements and alternatives to “achieve essentially CO<sub>2</sub>-free city logistics in major urban centers by 2030”, as formulated by the European Commission Whitepaper (EC, 2011). In order to achieve these goals, cities need to push forward their transformation exploring new ways of organizing goods transport as well as wholly new transportation modes.

One possible contributor to more effective and environmentally friendly city logistics schemes is the use of cargo bikes for the last mile of deliveries (Holguin-Veras et al., 2014; Browne et al., 2011; Lenz & Riehle, 2012), often enhanced by electrically assisted drivetrains. Cargo bikes possess many advantages for commercial use, like low

operating cost, less driver fatigue, higher payload, and environmental benefits (Transport for London, 2009), rendering them especially suitable for courier logistics with a high share of small-scale short distance shipments in metropolitan centers or when embedded in innovative logistics systems such as micro-consolidation centers (demonstrated in London by Leonardi et al., 2012) or mobile depots (e.g. in Brussels as shown by Verlinde et al., 2014). In Paris, an increasing number of innovative companies are starting to use cargo bikes for short-distance deliveries (Dablanc, 2011), resulting in strong growth of this currently niche market (Koning and Conway, 2014). The exact market size remains unclear, mostly due to incomplete statistics about two- or three-wheelers used for freight transport. Among the 3.8 million bicycles sold yearly in Germany, the number of electric cargo bikes can only be estimated around a 4-digit number (ZIV, 2013).

In order to explain the current market situation as well as to estimate its future potential, several assessments (Verlinde et al., 2014; Maes, 2015) have shown a repeating pattern: Cargo bikes prove to be a reliable and climate-friendly alternative to LCVs, but are little embraced by companies due to their unfavorable economics. While a total welfare approach including externalities would yield a positive net worth of electrification, a business economics perspective without including externalities shows up the well-known challenge of electric drivetrains, as their higher investment and setup expenses is not offset by the lower variable cost per kilometer. Hence, other motivations appear to be complementary in the decision to adopt electric vehicles.

This adoption process has been the focus of interest in many studies concerning electric vehicles in general. Most studies concentrate on private passenger cars (a comprehensive overview is given by Plötz et al., 2014), while commercial transport is under-represented (Globisch et al., 2013). Wolf and Seebauer (2014) investigated the adoption of electric bicycles by private households, employing the meta-theory UTAUT (unified theory of acceptance and use of technology, introduced by Venkatesh et al. (2003) for IT diffusion), which brings together 8 previous adoption theories, including the Theory of Planned Behavior (Ajzen, 1991), the Technology Acceptance Model (Davis, 1993) and the Diffusion of Innovations Theory (Rogers, 2003).

Regarding freight transport, Roumboutsos et al. (2014) apply a Systems of Innovation approach to estimate the potential of electric vehicles in city logistics and highlight the importance of well-organized local political actors and their networks. Laugesen (2013) compiled the results of 60 freight-oriented electric vehicle demonstration projects in the Baltic states. Cargo bikes are rarely the main focus of these urban freight demonstration projects, but sometimes accompanying modules (e.g. retail deliveries by cargo tricycle in Hasselt, Belgium and postal deliveries in Brussels, Belgium). Van Duin et al. (2013) focus on the simulation of electrification effects in city logistics. They apply a Fleet Size and Mix Vehicle Routing Problem with Time Windows (FSMVRPTW), finding that electric vehicles are generally capable of improving efficiency while strongly reducing externalities. Furthermore, the perspectives of different stakeholders (such as drivers, shift managers and dispatchers, customers or neighbors to costumers) are important for the assessment of innovations in courier and parcel logistics (Ehrler and Hebes, 2012).

Commercial fleets are seen as crucial for alternative vehicle uptake, as single decision-makers can impact the procurement not only of their own vehicle (as in private car markets) but large fleets comprising of many vehicles (Globisch et al., 2013). Sierzchula (2014) identified the interest in innovative vehicle technology as the main EV-adoption motivation for fleet managers, with only secondary complements seen in lowering environmental impact, receiving government grants and improving the company's public image.

As introduced by Nesbitt and Sperling (2014), fleet decision-making processes can be distinguished alongside two main dimensions: formalization and centralization. Formalization refers to the level of rules and procedures guiding the decision process. Centralization refers to the number and independence of decision-makers involved. Based on these dimensions, the authors derive four main structures of fleet decision-making: Hierarchic (high formalization and centralization), bureaucratic (high formalization, low centralization), autocratic (low formalization, high centralization) and democratic (low formalization and centralization). In Germany, a common form of operating a courier logistics company is without employed drivers, but with freelance messengers who are contracted on a commission basis, operate their own vehicles (normally bicycles, cars, or vans). Consequently, vehicle procurement and use decisions are made in a decentralized fashion by a heterogeneous group of individual messengers (Gruber et al., 2014) and the common definition of a firm's vehicle fleet might only be applied with caution. If done so, it would be attributed to the democratic fleet decision-making category, which according to Nesbitt and Sperling (2014) was the least common type but seen as an interesting case for alternative fuel vehicles.

In this paper, we want to contribute to the understanding of alternative vehicles adoption in city logistics by an in-depth analysis of a stakeholder group bearing high importance for the decision process but receiving limited academic attention: the individual messengers.

## 2. Project context, data, and methods

### 2.1. Electric cargo bikes for courier logistics in Germany

This analysis was conducted among messengers within a two-year fleet trial of 40 electrically assisted cargo bikes, funded by the German Federal Ministry for the Environment as part of the National Climate Initiative (project name: “Ich ersetze ein Auto”, i.e. “I substitute a car”).

The project vehicles (type “iBullitt”, see Fig. 1) offer a cargo box with approximately 200 liters of storage space between handlebars and front wheel. With battery capacities between 16 and 32 Ah and a maximum payload of 90 kg, these vehicles are capable of covering usual work loads of messengers (some 100 km daily).



Fig. 1. A messenger riding one of the electric cargo bikes used in the fleet test (photo source: Amac Garbe / DLR).

The electric cargo bikes were successfully deployed in the daily routines of courier logistics providers in eight major German cities. The vehicles were used continuously and with increasing success. During the 21 months of observation, around 127,000 shipments were carried out by messengers using the project vehicles, accounting for 8% of all shipments of the participating companies. The vehicles were used for approximately half a million kilometers in operational business.

This paper uses empirical data from two surveys. The eight courier companies have sent out invitation links to all approximately 600 (mostly freelance) messengers working for them to participate in the survey. The sample contains 362 answers: The 1st wave (t0, May 2012, return=191) was conducted before vehicle dissemination, the 2nd wave (t1, April 2014, return=171) 21 months after vehicle dissemination.

In order to assess the future market potential of electric cargo bikes, we find it necessary to characterize in detail this under-examined professional group in terms of socio-demographics, job circumstances and personal characteristics, including how they differ from the general population.

## 2.2. Rejection analysis

A second angle of our investigation is the factors leading to the rejection or embracement of electric cargo bikes by individual messengers. Contrary to the well-known approach of modelling technology acceptance, whose intensity in our case can vary between enthusiasm and passive non-opposition (especially during the free provision of fleet test vehicles), rejection appears easier to assess. Hence, our target is to identify factors causing the rejection of electric cargo bikes for commercial use.

Table 1 shows the grouping of the rejection variable from answers in both waves to rejecters and non-rejecters. In t0, the rejecters showed no interest in participating in the fleet trial nor could they picture themselves using electric cargo bikes in the future. The latter also holds true for rejecters from t1; however, they might have tested the project bike prior to their decision.

Table 1. Building the variable “rejection of electric cargo bikes” out of the survey responses.

Wave	t0 (May 2012)				t1 (April 2014)					
n	191				171					
Participation in fleet test	Are you interested in testing the electric cargo bike "iBullitt" as part of a project?				Which degree of experience do you have with the electric cargo bike "iBullitt"?					
	Yes.	No.	I have no experience.		I have used it only for test rides.		I have used it regularly for my job, but I'm not using it anymore.		I have used it regularly for my job, and I'm still using it.	
n	111	80	104		21		8		38	
General interest	Can you picture yourself using an electric cargo bike for your job in the future?									
		Yes.	No.	Yes.	No.	Yes.	No.	Yes.	No.	
n	↓	17	63	31	73	12	9	6	2	↓
Rejecters	0	0	1	0	1	0	1	0	1	0

To model this binary rejection as a dependent variable, we employed a dichotomous discrete choice model (binary logit). This model has been successfully used up to the present day for many acceptance and adoption studies, in areas as diverse as energy (Liu et al., 2013), agriculture (Mariano et al., 2012), land use (Jongeneel et al., 2008) and especially transport (Holguín-Veras and Wang, 2011; Ye et al., 2012) and technology forecasting (Cheng & Yeh, 2011). Since we have applied the model in a classic and unmodified form, the reader is referred to Ben-Akiva and Lerman (1985) for details on the mathematical foundations.

Sixty-three messengers participated in both waves, resulting in two answers for each of these panel members. Our constructed dependent variable correlates with panel membership by a coefficient of only 0.034. We therefore decided for a pooled model using answers from both waves. As expected, a dummy for panel membership revealed no significance.

## 3. Results

### 3.1. Characterization of messengers in Germany

We observe that working as a freelance messenger in urban courier logistics differs considerably from an employed job as a driver in other logistics industries. External perception draws a homogenous or even stereotype picture of this professional group, especially of bike messengers (sporty, venturesome, ecologically aware, technology enthusiast). In contrast, while some attributes might be distributed homogeneously, we found others to be very heterogeneous among the surveyed messengers. The detailed characterization is shown in Table 2.

Firstly, socio-demographic variables give an overview. The youngest of the 362 respondents of both survey waves was 18, the oldest 81 years old. We found a very similar age distribution (mean 42.6 years) to the German



population (mean 43.9 years<sup>1</sup> in 2011). Half of the messengers earn a net income of between €1,001 and €2,000, while the German average is €1,685<sup>2</sup>. In contrast, the educational profile shows a stronger deviation compared to the whole population: While only 36% of the sample has a low (compulsory school) or medium (secondary school) level of education, the corresponding number for Germany is 68%<sup>3</sup>. However, the main point of distinction is gender with only 7% of the respondents being female. Courier logistics clearly is a male-dominated industry.

Secondly, several job-related variables deserve attention. On average, the respondents drive a total daily mileage of 144 km, out of which 104 km are billed to the customers as net shipment distance. Note that these numbers combine bike and car messengers of which the latter naturally tend to achieve higher total daily mileages.

Both working days per week and working hours per day show substantial difference to regular German job conditions, as only half of the respondents follow the classic working scheme of 5 days per week and 6.5 to 9 hours per day. Deviations in both directions stem from the possibility to work part-time or as an intensive temporary or seasonal job. This is also reflected by roughly a third following other professions beside the messenger job. Note that especially the bike messenger job is a viable option for students due to low entry barriers and flexible working conditions. The variety in work styles also causes a high fluctuation in part of the workforce, while on the other hand one third has 10 or more years of messenger experience.

Geographically, respondents originate mainly from 7 large German cities. Approximately following the distribution of the fleet trial vehicles to these cities, Berlin exhibits the largest share at almost 40% (17 out of 40 project vehicles), followed by the second largest German city Hamburg at 16%.

While bicycle ownership (75%) and car ownership (56%) closely follow the German figures (82% owning a bicycle<sup>4</sup> and around 43.4 million passenger cars<sup>5</sup> are registered by a population of 80.8 million<sup>6</sup> inhabitants), cargo bike possession (excluding project vehicles) stands out at around 8%. When asked for their preferred vehicle for courier logistics, we can see a roughly equal split between ICE and climate-friendly vehicles. About every fourth messenger stated having practical experience with cargo bikes which largely originates from testing one of the project vehicles.

Around half of the messengers visit their contracting courier company's site at least daily, e.g. in order to hand over shipments. Other messengers pass by their company's site on a more irregular basis, e.g. for administrative purposes. Courier logistics offer different types of consignments which show varying popularity among messengers. Overnight pick-up tours (milk runs) are clearly the least popular consignment type. Compared with this, half of the messengers prefer ad-hoc point-to-point consignments with shipment distances below 20 km.

Thirdly, we asked for personal attitudes. 9 out of 10 respondents expressed interest in vehicle technology. Regarding the perception of electric cargo bikes, the respondents show a very positive attitude (86% agreeing or strongly agreeing), seeing this vehicle type as suitable for city logistics, contributory for environmental goals, and attracting pedestrians' interest. While the perceived substitution potential is split between car and bike shipments, messengers are less sure about the long-term success of electric cargo bikes in courier logistics. The item with the most indecisive answer distribution is the sufficiency of available information, with roughly as many people agreeing as disagreeing and a large proportion of neutral answers.

In line with the observed patterns in working time, flexibility is the most important job-related aspect for the respondents, with which they are also highly satisfied. Further important factors include contact with clients and other people, day-to-day variety, taking exercise while working, and job income. While the latter shows average dissatisfaction, the others provide contentment. Less important job factors comprise ecological footprint, long-term

<sup>1</sup> Source: <https://www.destatis.de/DE/ZahlenFakten/GesellschaftStaat/Bevoelkerung/Bevoelkerung.html>, reference year: 2011

<sup>2</sup> Source: <http://de.statista.com/statistik/daten/studie/164049/umfrage/verfuegbares-einkommen-je-arbeitnehmer-in-deutschland-seit-1960/>, reference year: 2013

<sup>3</sup> Source: <http://de.statista.com/statistik/daten/studie/1988/umfrage/bildungsabschluesse-in-deutschland/>, reference year: 2013

<sup>4</sup> Source: [http://www.mobilitaet-in-deutschland.de/pdf/MiD2008\\_Kurzbericht\\_I.pdf](http://www.mobilitaet-in-deutschland.de/pdf/MiD2008_Kurzbericht_I.pdf), reference year: 2008

<sup>5</sup> Source:

<https://www.destatis.de/DE/ZahlenFakten/Wirtschaftsbereiche/TransportVerkehr/UnternehmenInfrastrukturFahrzeugbestand/Tabellen/Fahrzeugbestand.html>, reference year : 2013

<sup>6</sup> Source: <https://www.destatis.de/DE/ZahlenFakten/GesellschaftStaat/Bevoelkerung/Bevoelkerung.html>, reference year: 2013

job planning, being at the heart of the city, job image, and innovative technology use. The low average importance of the latter appears especially contradictory to the high interest in vehicle technology.

Table 2. Characterization of messengers in courier logistics (n=362).

Socio-Demographic Variables			
Age [years]	mean: 42.6, SD: 11.6		
Gender		Net. income	
Female	7.2%	Up to €1,000	36.5%
Education		€1,001 - €2,000	48.6%
Low/medium	35.9%	€2,001 and more	14.9%
Job-Related Variables			
Total driven daily mileage [km]	mean: 143.5, SD: 98.3		
Total daily shipment distance [km]	mean: 103.7, SD: 73.1		
City / Company		Working days per week	
Berlin	37.3%	1	5.0%
Hamburg	15.5%	2	6.6%
Munich	9.7%	3	11.0%
Nuremberg	9.7%	4	14.4%
Bremen	8.0%	5	54.4%
Düsseldorf	8.0%	6	6.1%
Leipzig	5.5%	7	2.5%
Other	6.4%	Working hours per day	
Vehicle ownership		up to 3 hours	2.5%
Regular bicycle	75.1%	3.5 to 6 hours	24.6%
(Electric) cargo bike	7.7%	6.5 to 9 hours	47.2%
Car or van	55.8%	9.5 to 12 hours	25.4%
Preferred vehicle for courier logistics		12.5 and more hours	0.3%
Regular bicycle	42.0%	Profession beside messenger job	30.4%
(Electric) cargo bike	9.7%	Presence at courier company	
Car or van	48.3%	several times per day	34.1%
Experience with cargo bikes	22.9%	daily	17.7%
Possibility to bundle shipments	50.0%	several times per week	29.0%
Working experience as messenger		weekly	11.8%
less than 1 year	12.7%	monthly	7.3%
1- less than 2 years	11.6%	Preferred consignment type	
2- less than 5 years	19.9%	Point-to-point shipments (up to 20 km)	49.7%
5- less than 10 years	20.7%	Point-to-point shipments (more than 20 km)	26.8%
10 years or more	35.1%	Overnight pickups	3.3%
		Regular tours	13.0%
		Other, e.g. value-added logistics	7.2%
Personal Attitude Variables			
Interest in vehicle technology	90.1%		
General assessment of suitability of electric cargo bikes			
Using electric cargo bikes in my city makes sense.		Electric cargo bikes attract pedestrians' interest.	
Strongly agree	63.0%	Strongly agree	49.4%
Agree	23.2%	Agree	34.6%
Undecided	9.6%	Undecided	11.6%
Disagree	2.5%	Disagree	2.6%
Strongly disagree	1.7%	Strongly disagree	1.7%
Electric cargo bikes contribute towards environmental protection.		Messengers on electric cargo bikes can take over tasks that have formerly been carried out by car messengers.	
Strongly agree	53.3%	Strongly agree	44.7%
Agree	29.8%	Agree	31.7%
Undecided	8.9%	Undecided	12.9%
Disagree	4.6%	Disagree	5.9%
Strongly disagree	3.4%	Strongly disagree	4.8%
Messengers on electric cargo bikes can take over task that have formerly been carried out by bike messengers.		Electric cargo bikes will generally prevail in courier logistics.	
Strongly agree	40.7%	Strongly agree	25.2%

Agree	27.8%	Agree	29.9%
Undecided	17.7%	Undecided	28.1%
Disagree	8.7%	Disagree	12.5%
Strongly disagree	5.1%	Strongly disagree	4.3%
<i>Sufficient information is available on electric cargo bikes and their usage.</i>			
Strongly agree	9.4%		
Agree	23.0%		
Undecided	37.2%		
Disagree	23.6%		
Strongly disagree	6.9%		
<i>Importance of and satisfaction with job-related aspects</i>			
<i>Flexibility / time management</i>		<i>Contact with my clients</i>	
Very Important	49.4%	Very Important	36.3%
Important	33.8%	Important	33.0%
Neutral	12.8%	Neutral	23.5%
Unimportant	2.8%	Unimportant	5.0%
Very Unimportant	1.1%	Very Unimportant	2.2%
<i>Variety from day to day</i>		<i>Contact with people</i>	
Very Important	31.7%	Very Important	29.0%
Important	36.1%	Important	34.0%
Neutral	26.4%	Neutral	26.2%
Unimportant	4.4%	Unimportant	7.7%
Very Unimportant	1.4%	Very Unimportant	3.0%
<i>Amount of income</i>		<i>Taking exercise while working</i>	
Very Important	27.4%	Very Important	28.5%
Important	33.5%	Important	28.8%
Neutral	29.9%	Neutral	24.0%
Unimportant	7.2%	Unimportant	14.0%
Very Unimportant	1.9%	Very Unimportant	4.7%
<i>Ecological footprint of job</i>		<i>Long-term job planning</i>	
Very Important	19.2%	Very Important	21.9%
Important	29.2%	Important	23.3%
Neutral	31.2%	Neutral	24.2%
Unimportant	14.5%	Unimportant	23.9%
Very Unimportant	5.8%	Very Unimportant	6.7%
<i>Being at the heart of the city</i>		<i>Image of job</i>	
Very Important	13.8%	Very Important	18.0%
Important	24.3%	Important	19.1%
Neutral	29.7%	Neutral	27.5%
Unimportant	20.1%	Unimportant	25.6%
Very Unimportant	12.1%	Very Unimportant	9.8%
<i>Using innovative technologies</i>			
Very Important	12.7%	Very satisfied	12.0%
Important	21.2%	Satisfied	30.2%
Neutral	32.2%	Neutral	45.2%
Unimportant	24.9%	Dissatisfied	10.2%
Very Unimportant	9.0%	Very dissatisfied	2.5%

### 3.2. Factors influencing electric cargo bike rejection

Out of all elements of the messenger characterization, only a limited number proved to be significant in a multivariate perspective on electric cargo bike rejection. There are prominent variables that don't show significant influence on the likelihood of rejecting electric cargo bikes, such as both weekly and daily working hours and travel distances, company (and therefore city) effects, work style and work experience as a messenger, as well as general motivations for choosing the messenger job (such as income, flexibility, variety and contact with people). Even the motives of physical exercise and low carbon footprint did not reveal significance.



To illustrate the cumulative effects of the different types of independent variables, we present two models of electric cargo bike rejection. Table 3 lists both models and their coefficients. Positive coefficients indicate a higher probability of rejection. Lower p-values indicate a high significance of the measured effect.

Table 3. Model results (n=362).

Variable	M1		M2	
	coeff.	p	coeff.	p
Age	0.056	0.000	0.048	0.000
Gender: female	1.359	0.003	1.428	0.004
Net. income: >€2000	1.036	0.002	1.025	0.004
Education: low/medium	0.628	0.011	0.474	0.076
Car ownership			0.811	0.005
Possibility to bundle shipments			-0.822	0.001
Interest in vehicle technology			-1.727	0.000
Constant	-3.315	0.000	-1.451	0.023
Log likelihood	-214		-196	
Pseudo R <sup>2</sup> (McFadden)	0.125		0.199	

Model 1 contains four classic socio-demographic variables: age, gender, income, and education. Model 2 adds relevant information about messengers' job circumstances: car ownership and the possibility of bundling several shipments during ad-hoc tours as well as stated interest in vehicle technology.

Model 1 reveals the importance of classic socio-demographics on technology acceptance. Rejection probability increases with age and income, while higher education and male gender apparently result in higher likelihood of open-mindedness towards innovative vehicles. These four variables already account for an R<sup>2</sup> (McFadden) of 0.13.

Model 2 underlines the importance of individual work surroundings and attitudes. As we turn to consider job circumstances, we see that messengers owning cars are less likely to embrace the commercial use of electric cargo bikes. On the other hand, bundling shipments, a typical strategy of courier deliveries, plays an important role. Finally, interest in vehicle technology is the most important factor influencing the choice between rejection and embracement. The seven variables of M2 account for an R<sup>2</sup> (McFadden) of 0.20.

As described above, other socio-demographic and attitude variables are either insignificant or potentially endogenous for our constructed dependent variable and thus not included in the model.

In various robustness checks (not presented here), all coefficients prove quite stable and independent of the inclusion of new variables. Collinearity checks revealed a condition number of 14 and no variance inflation factor above 1.3, further strengthening these findings.

#### 4. Interpretation

As in other studies dealing with technology adoption, we observe the importance of classic socio-economic factors such as age, income, education and gender. The clearest picture emerges for education: Messengers show an above-average educational profile and a low education increases the probability of rejection. Concerning age, our results show a wide (but quite average) range and an increasing rejection with higher age. While this is in line with some other studies (overview given by Lüthje, 2007), the inverted relation has also been observed by Wolf and Seebauer (2014) for adoption in the private e-bike market, where older people are more likely to embrace electrically assisted bicycles than their young counterparts. Similarly, the detected negative impact of high income dissents from other studies observing a positive relation between income and adoption (Hjorthol, 2013). Unlike the rather unrelated situation in private vehicle procurement, a new type of commercial vehicle can be expected to change a messenger's income situation. Those with currently high income thus appear less keen on changes of the status quo. The negative effect of female gender on EV adoption is in line with many studies (Wietschel et al., 2012),

as is the interest in vehicle technology. Note again that both male gender and technology interest are each true for over 90% of our sample, rendering these aspects dependent on a low number of cases. Interestingly, using innovative technologies has been rated the least important among 11 job-related aspects.

On a more practical level, factors describing messengers' job organization proved to be of influence for technology acceptance. While professionals often solely distinguish their messengers' workforce between car and bike messengers, we found car ownership as only one among several variables leading to a rejection attitude towards electric cargo bikes. One of these variables is the possibility of bundling shipments, which is a typical strategy of messengers to improve their share of billed shipment distance compared to total driven mileage. (Electric) cargo bikes, offering a higher storage capacity than bicycles, are welcomed by messengers pursuing these bundling strategies.

Range-restricted technologies such as electric vehicles have a suitable application field in courier logistics, as a majority of messengers prefer ad-hoc consignments with shipment distances below 20 km. In combination with frequent presence at the courier company's site, (fast) charging concepts can be a facilitator to successfully implement less expensive cargo bikes with electric ranges below the daily mileage of messengers.

Messengers assess electric cargo bikes as being environmentally-friendly vehicles; however, this cannot be seen as direct driver of procurement intention, as having a low carbon footprint is only a secondary target for most members of this professional group.

The specific requirements of electric cargo bikes (possibility of charging and safe parking) must not intervene with the observed high degree of desired flexibility and heterogeneity of work styles.

It is appealing that the observed multitude of company policies and built environments reflected by the diverse sample distribution does not have any effect on the rejection probability. We can therefore hypothesize that our results have a general applicability, regardless of specific local circumstances.

The high value of 86% agreement that using electric cargo bikes makes sense has three implications: Firstly, such a high level is very promising in terms of general market potential. Secondly, electric cargo bikes do not appear to be an outlandish technological niche but rather a somehow pragmatically expected evolution of the current technology. Thirdly (and somehow disturbing however), it is in stark contrast to the share of 147 out of 362 respondents identified as rejecting the individual long-term adoption of this alternative.

One approach to tackle these rejection levels can be fleet tests in order to raise cargo bike experience.

## 5. Conclusion

Using a two-wave survey including 362 answers of individual messengers about themselves, their job situation and their attitude towards technology, we achieved an in-depth characterization of this seldom-portrayed professional group of decision-makers in the field of city logistics.

With the exception of a high share of males and higher level of education, their socio-demographic features are fairly aligned with the general population. We detected a plurality of working styles, due to the high degree of flexibility and the freelance working environment. While around every fourth of the respondents stated own experience with electric cargo bikes and 8% already owning this vehicle type, almost 90% see them as a viable option for courier deliveries.

In order to shape a more concrete picture of technology uptake by these individuals, we opted for the modeling of a binary variable reflecting rejection. Especially in a longitudinal study design this decision can be derived with more accuracy than its positive counterpart (adoption). We found evidence for well-known explanatory factors of innovation rejection. These factors include socio-demographic attributes such as age, gender, income and education, as well as individual perception of the technological innovation and its impact. Other important factors include specificities of the messenger job like car ownership and delivery strategy.

As a concrete policy recommendation, our results suggest a high success potential for information and adoption campaigns as well as large-scale fleet tests, all specifically aimed at the identified profile of rejecters in order to increase their awareness and acceptance of new vehicle technologies.

## References

- Ajzen, I., (1991). The theory of planned behavior. *Organizational Behavior and Human Decision Processes* 50, 179–211.
- Ben-Akiva, M., Lerman, S.R. (1985). *Discrete Choice Analysis: Theory and Application to Travel Demand*. Cambridge, MA, MIT Press.
- Browne, M., Allen, J., Leonardi, J. (2011). Evaluating the use of an urban consolidation centre and electric vehicles in central London. *IATSS Research*, 35 (1), 1-6.
- Cheng, Y., Yeh, Y. (2011). Exploring radio frequency identification technology's application in international distribution centers and adoption rate forecasting. *Technological Forecasting and Social Change*, 78 (4), 661-673.
- Dablane, L. (2011). *Transferability of Urban Logistics Concepts and Practices from a Worldwide Perspective – Deliverable 3.1 – Urban Logistics Practices – Paris Case Study*.  
[http://89.152.245.33/DotNetNuke/Portals/Turblog/DocumentosPublicos/CaseStudies/TURBLOG\\_D3.1ParisFV.pdf](http://89.152.245.33/DotNetNuke/Portals/Turblog/DocumentosPublicos/CaseStudies/TURBLOG_D3.1ParisFV.pdf) Accessed on 12 Dec 2014.
- Davis, F.D. (1993). User acceptance of information technology: system characteristics, user perceptions and behavioral impacts. *International Journal of Man-Machine Studies*, 38, 475-487.
- Ehrler, V., Hebes, P. (2012). Electromobility for City Logistics—The Solution to Urban Transport Collapse? An Analysis Beyond Theory. *Procedia Social and Behavioral Sciences* 48, 786–795.
- European Commission (2011). White Paper. Roadmap to a Single European Transport Area – Towards a competitive and resource efficient transport system. <http://eur-lex.europa.eu/legal-content/EN/TXT/PDF/?uri=CELEX:52011DC0144&from=EN> Accessed on 20 Jan 2015.
- Globisch, J., Schneider, U., Dütschke, E. (2013). Acceptance of electric vehicles by commercial users in the electric mobility pilot regions in Germany. *eccee Summer Study proceedings*, 12, 973–983.
- Gruber, J., Kihm, A., Lenz, B. (2014). A new vehicle for urban freight? An ex-ante evaluation of electric cargo bikes in courier services. *Research in Transportation Business & Management*, 11, 53–62.
- Hjorthol, R. (2013). Attitudes, ownership and use of Electric Vehicles - a review of literature. TØI report 1261/2013  
[http://www.compott.org/documents/wp\\_2\\_report\\_attitudes\\_ownership\\_and\\_use\\_of\\_electric\\_vehicles\\_a\\_review\\_of\\_literature.pdf](http://www.compott.org/documents/wp_2_report_attitudes_ownership_and_use_of_electric_vehicles_a_review_of_literature.pdf) Accessed on 12 Dec 2014.
- Holguín-Veras, J. et al. (Eds.) (2014). Improving Freight System Performance in Metropolitan Areas. Initiative 46: Mode Shift Program. National Cooperative Freight Research Program (NCFRP) 38. [https://coe-sufs.org/wordpress/ncfrp38/psi/demand\\_land\\_use/msp/](https://coe-sufs.org/wordpress/ncfrp38/psi/demand_land_use/msp/) Accessed on 10 Sep 2014.
- Holguín-Veras, J., Wang, Q. (2011). Behavioral investigation on the factors that determine adoption of an electronic toll collection system: Freight carriers. *Transportation Research Part C: Emerging Technologies*, 19 (4), 593-605.
- Jongeneel, R.A., Polman, N.B.P., Slangen, L.H.G. (2008). Why are Dutch farmers going multifunctional? *Land Use Policy*, 25 (1), 81-94.
- Koning, M., Conway, A. (2014). Biking for goods is good: An Assessment of CO2 savings in Paris. Conference proceedings, Transportation Research Board 94th Annual Meeting 2015.
- Laugesen, M.S. (2013). E-Mobility NSR. Comparative Analysis of European Examples of Schemes for Freight Electric Vehicles. Compilation Report. [http://e-mobility-nsr.eu/fileadmin/user\\_upload/downloads/info-pool/E-Mobility\\_-\\_Final\\_report\\_7.3.pdf](http://e-mobility-nsr.eu/fileadmin/user_upload/downloads/info-pool/E-Mobility_-_Final_report_7.3.pdf) Accessed 26 Jan 2015.
- Lenz, B., Riehle, E. (2012). Bikes for Urban freight? — Experience for the European case. Conference proceedings, Transportation Research Board 92th Annual Meeting 2013.
- Leonardi, J., Browne, M. and Allen, J. (2012). Before-after assessment of a logistics trial with clean urban freight vehicles: A case study in London. *Procedia – Social and Behavioral Sciences* (39), 146-157.
- Liu, W., Wang, C., Mol, A.P.J. (2013). Rural public acceptance of renewable energy deployment: The case of Shandong in China. *Applied Energy*, 102, 1187-1196.
- Lüthje, C. (2007). Die Verbreitung von Innovationen. In N. Birbaumer & L.v. Rosenstiel (Eds.), *Marktpsychologie* (pp. 291–341). Göttingen: Hogrefe.
- Maes, J., (2015). Welfare Economic Evaluation of Urban Freight Distribution Concept with Cargo Cycles. Conference proceedings, Transportation Research Board 94th Annual Meeting 2015.
- Mariano, M.J., Villano, R., Fleming, E. (2012). Factors influencing farmers' adoption of modern rice technologies and good management practices in the Philippines. *Agricultural Systems*, 110, 41-53.
- Nesbitt, K., Sperling, D. (2001). Fleet purchase behavior: decision processes and implications for new vehicle technologies and fuels. *Transportation Research Part C: Emerging Technologies*, 9(5), 297-318.
- Plötz, P., Schneider, U., Globisch, J., Dütschke, E. (2014). Who will buy electric vehicles? Identifying early adopters in Germany. *Transportation Research Part A: Policy and Practice*, 67 (2014) 96-109
- Rogers, E.M. (2003). *Diffusion of innovations*. 5th edition, Free Press, New York.
- Roumboutsos, A., Kapros, S., Vanelslander, T. (2014). Green city logistics: Systems of Innovation to assess the potential of E-vehicles. *Research in Transportation Business & Management*, 11, 43-52.
- Sierzechula, W., 2014. Factors influencing fleet manager adoption of electric vehicles. *Transportation Research Part D: Transport and Environment*, 31, 126–134.
- Transport for London TfL (Eds.) (2009): *Cycle freight in London: A scoping study*. London.  
<http://www.tfl.gov.uk/assets/downloads/businessandpartners/cycle-as-freight-may-2009.pdf> Accessed 17 Jul, 2012.
- Van Duin, J.H.R., Tavasszy, L., Quak, H.J. (2013). Towards E(lectric)-urban freight. Firstpromising steps in the electric vehicle revolution. *European Transport* (54).

- Venkatesh, V., Morris, M.G., Davis, G.B., Davis, F.D., (2003). User acceptance of information technology: toward a unified view. *MIS Quart.* 27 (3), 425–478.
- Verlinde, S., Macharis, C., Milan, L., Kin, B. (2014). Does a mobile depot make urban deliveries faster, more sustainable and more economically viable: results of a pilot test in Brussels. *Transportation Research Procedia*, 4, 361 – 373.
- Wietschel, M., Dütschke, E., Funke, S., Peters, A., Plötz, P., Schneider, U., Roser, A., Globisch, J. (2012). Kaufpotenzial für Elektrofahrzeuge bei sogenannten "Early Adoptern": Studie im Auftrag des Bundesministerium für Wirtschaft und Technologie (BMWi). Karlsruhe.
- Wolf, A., Seebauer, S. (2014). Technology adoption of electric bicycles: A survey among early adopters. *Transportation Research Part A: Policy and Practice*, 69, 196-211.
- Ye, L., Mokhtarian, P.L., Circella, G. (2012). Commuter impacts and behavior changes during a temporary freeway closure: The 'Fix I-5' project in Sacramento, California. *Transportation Planning and Technology*, 35 (3), 341-371.
- ZIV [Zweirad-Industrieverband] (2013). Zahlen – Daten – Fakten zum Fahrradmarkt in Deutschland.  
[http://ziv-zweirad.de/fileadmin/redakteure/Downloads/PDFs/PK\\_2014-ZIV\\_Praesentation\\_25-03-2014\\_oT.pdf](http://ziv-zweirad.de/fileadmin/redakteure/Downloads/PDFs/PK_2014-ZIV_Praesentation_25-03-2014_oT.pdf) Accessed on 10 Jul 2014.

Johannes Gruber / Christian Rudolph / Viktoriya Kolarova, Berlin

## Einflussfaktoren bei der Einführung des Lastenrads im urbanen Wirtschaftsverkehr<sup>1</sup>

**Factors determining the introduction of cargo bikes in urban commercial transport.** One potential approach to the challenges faced by urban commercial transport is the introduction of (electrically assisted) cargo bikes in different transport market segments, which will initially be categorized. Furthermore, this paper deals with the sparsely investigated reasons explaining the gap between cargo bikes' large potential to substitute car trips and their marginal degree of utilization to date. Inspired by innovation diffusion theories and based on the results of 45 guided interviews with cargo bike users and industry insiders, this article presents three interrelated groups of determinants influencing stakeholders' decisions to use cargo bikes in a positive or negative way. Firstly, environmentally specific factors consist of regulatory, socio-spatial, and economic framework conditions. Secondly, company-specific factors include the type of fleet decision-making, firms' strategic orientation, and decision-makers' individual attitudes. Thirdly, vehicle-specific factors can be grouped in compatibility with transport tasks, relative advantage compared to conventional vehicles, and cargo bike availability.

**Keywords:** commercial transport, sustainable urban freight, cargo bikes, innovation diffusion, organizational decision-making

### Motivation, Ziel und Hintergrund des Beitrags

Das städtische Wirtschaftsverkehrsaufkommen wächst in Deutschland seit Jahren kontinuierlich (KUTTER 2004), beeinflusst von Wachstumsmärkten wie E-Commerce und der Nachfrage nach hochwertigen, flexiblen und zeitkritischen logistischen Dienstleistungen (BIEK 2014). Die negativen Externalitäten (Stau, Emissionen, Lärm, sinkende Verkehrssicherheit und Aufenthaltsqualität) entstehen häufig stark konzentriert in städtischen (Teil-)Räumen und erhöhen den Handlungsdruck auf Kommunen (BECKMANN 2012). Gleichzeitig wird dieser weiter verstärkt durch das Ziel der EU-Verkehrspolitik, welches die „Erreichung einer im wesentlichen CO<sub>2</sub>-freien Stadtlogistik in größeren städtischen Zentren bis 2030“ vorsieht (Europäische Kommission 2011).

Gewerbliche Fahrradnutzung, insbesondere der Einsatz von Lastenrädern, wird als ein Element zur umweltfreundlicheren und effektiveren Gestaltung des Wirtschaftsverkehrs gesehen (LENZ/RIEHLE 2012; BROWNE et al. 2011; HOLGUÍN-VERAS et al. 2014; KONING/CONWAY

2014; MENGE/HORN 2014). Während Fahrräder in einzelnen Branchen seit Jahrzehnten etabliert sind (etwa Posträder und Werksräder), kann das zunehmende Angebot an (elektrifizierten) Lastenrädern als eine Nachhaltigkeitsinnovation bezeichnet werden. Deren Anwendung ist auch in anderen Branchen wie etwa der Kurierdienstleistung (GRUBER et al. 2014) und der Speisenauslieferung (NORDENHOLZ 2012) möglich. Elektro-Lastenräder sind rechtlich mit Fahrrädern gleichgestellt, wenn ihr „elektromotorischer Hilfsantrieb mit einer Nenndauerleistung von höchstens 0,25 kW ausgestattet“ ist und bei maximal 25 km/h oder ohne Tretbewegung des Fahrers unterbrochen wird (§ 1 Abs. 3 StVO). Neben diesem häufig als Pedelec-25 bezeichneten Typ existieren S-Pedelecs oder schnelle E-Bikes, welche mit einer Nenndauerleistung bis 0,5 kW und Geschwindigkeiten bis 45 km/h als Kleinkrafträder zugelassen werden. Lastenräder in unterschiedlichen Elektrifizierungsgraden versprechen gewerblichen Anwendern Betriebskostenvorteile gegenüber verbrennungsmotorischen Fahrzeugen sowie das Potenzial, größere Güter als mit herkömmlichen Fahrrädern anstrengungsfrei und gleichzeitig emissionsarm zu transportieren (Transport for London 2009).

Derzeit liegt allerdings eine große Diskrepanz zwischen dem hohen theoretischen Substitutionspotenzial von Lastenrädern und ihrer noch marginalen Nutzung im gewerblichen Kontext vor. Die Ursachen sind bislang unklar und nur wenig erforscht. Ziel dieses Beitrags ist daher eine Kategorisierung der bestehenden Einsatzformen von Lastenrädern sowie eine Analyse des breiten Spektrums von Treibern und Hemmnissen bei der Lastenradnutzung im Wirtschaftsverkehr.

### **Einflussfaktoren auf die Adoption von Innovationen**

Wissenschaftliche Theorien zur Erklärung von organisationalen Kaufentscheidungen im Rahmen von Innovationen und noch spezifischer solche, die Unternehmensentscheidungen beim Fahrzeugkauf untersuchen, bieten einen Überblick über mögliche Einflussgrößen und sind daher Gegenstand der folgenden Ausführung. In den Beiträgen zur Erklärung der Adoption (Übernahme) von Innovationen wird im Allgemeinen zwischen drei Gruppen von Faktoren unterschieden, die den Adoptionsprozess determinieren: umfeldspezifische, adopterspezifische und produktspezifische Merkmale (LITFIN 2000; GELBRICH 2007).

#### *Umfeldspezifische Merkmale*

Zu den umfeldspezifischen Merkmalen gehören die Charakteristiken des sozialräumlichen, kulturellen, technologischen, ökonomischen und politischen Umfeldes. Diese sind als Rahmenbedingungen des Adoptionsprozesses anzusehen (LANGERT 2007; LITFIN 2000). Das sozialräumliche und kulturelle Umfeld bestimmt dabei die in der Gesellschaft, im Bezugsraum oder in einer Bezugsgruppe geltenden Werte und Normen, die einen indirekten Einfluss auf die Adoptionsentscheidung haben. Das ökonomische Umfeld umfasst die volkswirtschaftlichen Rahmenbedingungen wie z. B. Konjunktursituation, Marktstruktur, Marktwachstumserwartungen (LITFIN 2000), staatliche Subventionierung (LANGERT 2007). Das politische Umfeld beschreibt die rechtlich-politischen Rahmenbedingungen wie Gesetze und rechtliche Regelungen, die einen Bezug zur Verwendung der Innovation haben.

#### *Adopterspezifische Merkmale*

Die adopterspezifischen Faktoren sind die Eigenschaften des Adopters, die einen Einfluss

auf seine Entscheidung ausüben. Für den überwiegenden Teil der Literatur werden Adopter als Einzelpersonen aufgefasst, da Forschungsgegenstand die Aufnahme von Innovationen durch Konsumenten ist. Im unternehmerischen Kontext sind Entscheidungsprozesse allerdings aus zwei Gründen komplexer. *Erstens* entscheiden verantwortliche Personen in Unternehmen im Spannungsfeld aus subjektiven Einstellungen und rationaler Abwägung. Folglich sind neben den Merkmalen des Entscheiders (wie z. B. individuelle Einstellungen, Erfahrungen, Soziodemographie, Persönlichkeitsmerkmale) auch unternehmensspezifische Charakteristiken wie betriebliche Entscheidungsstrukturen, Unternehmensgröße, Organisationsziele oder auch finanzielle Ressourcen ausschlaggebend (vgl. LANGERT 2007; LITFIN 2000). *Zweitens* fallen unternehmerische Kaufentscheidungen für gewöhnlich im Zusammenspiel von mehreren Funktionsträgern. Im Allgemeinen wird in der Literatur je nach Anzahl der Entscheider zwischen individuellen und kollektiven organisationalen Entscheidungen differenziert (FORSCHT/SWOBODA 2007; GELBRICH 2007). Für die Erklärung des spezifischen Kaufverhaltens eines Unternehmens bei Fahrzeuganschaffungen ist diese allgemeine Kategorisierung jedoch unzureichend.

Aus diesem Grund haben NESBITT/SPERLING (2001) einen erweiterten theoretischen Rahmen zur Kategorisierung der flottenbezogenen Entscheidungsstrukturen entwickelt, bei dem nicht nur die Anzahl der Personen (der sogenannte Zentralisierungsgrad), sondern auch die Formalisierung des Prozesses eine Rolle spielt. Der Formalisierungsgrad beschreibt dabei, ob es Regeln, festgelegte Prozesse oder Einkaufsstrategien in dem jeweiligen Unternehmen gibt. Je nach Ausprägungen der Dimensionen Formalisierung und Zentralisierung werden hierarchische (hoch formalisiert, hoch zentralisiert), bürokratische (hoch formalisiert, wenig zentralisiert), demokratische (wenig formalisiert, wenig zentralisiert) und autokratische (wenig formalisiert, hoch zentralisiert) Entscheidungen unterschieden. Die unterschiedlichen flottenbezogenen Entscheidungsstrukturen sind von Bedeutung für die Etablierung von alternativen Fahrzeugantrieben in den jeweiligen Unternehmen.

Bürokratische Entscheidungen sind durch viele Entscheider und feste Regeln im administrativen Prozess charakterisiert, was laut NESBITT/



SPERLING (2001) in der Regel eine Barriere für die Implementierung von innovativen Transporttechnologien darstellt. In Unternehmen mit autokratischer Entscheidungsstruktur werden die Entscheidungen von einzelnen Personen getroffen und hängen daher sehr stark von ihren subjektiven Präferenzen ab. Diese zählen meistens nicht zu den ersten, aber dennoch frühen Übernehmern einer Innovation, da sie in einem dynamischen Wettbewerbsumfeld agieren und daher anpassungsfähig sein müssen. Hierarchische Kaufentscheidungen werden auf einer hohen Managementebene getroffen und sind stark durch strategische Denkweisen und Standardprozeduren unter Berücksichtigung der Unternehmensziele und -ressourcen geprägt. Dies können sehr gute Voraussetzungen für die Adoption von alternativ betriebenen Flottenfahrzeugen sein. Demokratische Entscheidungen werden von verschiedenen Personen und nicht nach festen Regeln getroffen. Diese Rahmenbedingungen können die Adoption von alternativen Fahrzeugen begünstigen, da die Entscheidung auch von den unteren Hierarchieebenen eines Unternehmens initiiert werden kann.

#### *Produktspezifische Merkmale*

Die Adoption einer Innovation wird neben den adopterspezifischen auch von produktspezifischen Merkmalen bestimmt, wobei die beiden Gruppen der Einflussfaktoren stark interagieren. So sind neben den objektiven Produkteigenschaften der Innovation auch die subjektive Bewertung dieser Eigenschaften ausschlaggebend (LITFIN 2000). Zur Gliederung der Produkteigenschaften werden am häufigsten fünf Charakteristiken diskutiert (vgl. ROGERS 1995), deren Einfluss auf die Adoption von Innovationen mehrfach bewiesen und als sehr hoch eingestuft wurde (LITFIN 2000): die Kompatibilität, der relative Vorteil, die Erprobbarkeit, die Komplexität und die Sichtbarkeit der Innovation.

Der Grad der Kompatibilität beschreibt, in welchem Ausmaß eine Innovation als übereinstimmend mit den Werten, Erfahrungen und Bedürfnissen der Unternehmen und seiner Entscheider wahrgenommen wird (ROGERS 1995). Der relative Vorteil bezieht sich auf den Vergleich der Innovation gegenüber den bisher bekannten bzw. verwendeten Produktalternativen (LANGERT 2007) und lässt sich in der Regel betriebswirtschaftlich messen. Die Erprobbarkeit beschreibt, wie hoch der Aufwand ist, um die Innovation testen zu können (ROGERS 1995). Die Komple-

xität der Innovation zeigt an, wie schwierig diese zu verstehen bzw. in die Geschäftsabläufe zu integrieren ist. Sie hängt stark vom Produktwissen, den Erfahrungen und der Lernbereitschaft der Entscheider ab (LITFIN 2000; LÜTHJE 2007). Die Sichtbarkeit spiegelt das Ausmaß wider, in dem der Nutzen einer Innovation für die Mitglieder eines sozialen Systems sichtbar ist (ROGERS 1995; LÜTHJE 2007).

#### *Adoption von Nachhaltigkeitsinnovationen im Verkehrsbereich*

Bisherige Untersuchungen zur Adoption von Nachhaltigkeitsinnovationen im Verkehrsbereich fokussieren vor allem auf den privaten Kauf und die Nutzung von alternativ betriebenen Fahrzeugen (vgl. PLÖTZ et al. 2014). Untersuchungen zur Adoption von Elektrofahrzeugen und Gasfahrzeugen zeigen, dass Umweltbewusstsein und auch ökonomische Aspekte bei der Entscheidung eine Rolle spielen (DÜTSCHKE 2011; OZAKI/SEVASTYANOVA 2011). WOLF/SEEBAUER (2014) untersuchen die Determinanten für die Nutzung von Elektrofahrrädern unter Anwendung der „theory of planned behavior“ (nach AJZEN 1991) und zeigen, dass insbesondere der wahrgenommene Nutzen, die leichte Bedienbarkeit der Fahrräder, das Vorhandensein einer entsprechenden Infrastruktur sowie das hohe Umweltbewusstsein der Nutzer ausschlaggebend bei der Adoption der Innovation waren.

Die Kaufentscheidungen von Unternehmen gegenüber Nachhaltigkeitsinnovationen wie dem Einsatz alternativer Fahrzeuge in gewerblichen Flotten wurden dagegen bisher wenig erforscht (GLOBISCH et al. 2013). Erste Ergebnisse aus Studien zur Flottenentscheidung bei alternativen Fahrzeugen zeigen, dass die allgemeine Experimentierfreude, die Verringerung der schädlichen Umweltwirkungen, öffentliche Förderung sowie der Wunsch nach einer Vorreiterrolle und der Imagegewinn wichtige Faktoren bei Kaufentscheidungen von Flottenmanagern sind (SIERZCHULA 2014; DÜTSCHKE 2013). Der Kenntnisstand zu Kauf- und Nutzungsentscheidungen von kleineren Fahrzeugkategorien (wie etwa Lastenrädern) ist sehr gering. Diese werden in ersten Forschungsarbeiten eher als Teil von logistischen Konzepten wie stationären oder mobilen Depots (Mikro-Konsolidierungszentren) wohlfahrtsökonomisch (MAES 2014) oder in ihrer verkehrlichen Wirkung (VERLINDE et al. 2014) bewertet.

## Methodik

Die Einflussfaktoren auf die Adoption von Lastenrädern im Wirtschaftsverkehr sind bislang noch wenig erforscht. Um ein tieferes Verständnis der komplexen organisationalen Entscheidungsstrukturen zu erlangen, ist eine explorative Vorgehensweise von Vorteil. Insbesondere basieren die Erkenntnisse auf einer kombinierten Methodik aus Sekundärrecherche und qualitativen Expertengesprächen. Die Sekundärrecherche berücksichtigte Projekte mit öffentlicher Förderung, internationale Demonstrationsprojekte und Initiativen der Privatwirtschaft und hatte zum Ziel, eine Typologisierung der bestehenden Einsatzformen von gewerblicher Lastenradnutzung zu erstellen. Keine Berücksichtigung fanden privat motivierte Verkehre (etwa zum Transport von Kindern oder Waren) oder gewerbliche Lastenradnutzungen, bei denen die Raumüberwindung kein wesentlicher Teil des Geschäftsmodells darstellt (z. B. mobile Kaffeestände).

Die resultierende Einteilung in Marktsegmente diente im weiteren Verlauf der Rekrutierung von Gesprächspartnern für Experteninterviews. Hierbei wurden vorrangig Unternehmen kontaktiert, von denen eine gewerbliche Lastenradnutzung bekannt war. Neben der Sicht der (bereits nutzenden) Unternehmen war die Perspektive von Branchenkennern von Interesse, welche in

ihrem Tätigkeitsprofil Berührungspunkte mit den Belangen gewerblicher Fahrradnutzung aufweisen. Inhalte der leitfadengestützten Gespräche waren die Entscheidungsstrukturen bei der Anschaffung und gewerblichen Nutzung von Lastenrädern, die Treiber und Hemmnisse für einen (verstärkten) Einsatz von Fahrrädern im Unternehmenskontext sowie Einschätzungen bezüglich des Marktpotenzials.

Über 80 potenzielle Interviewpartner konnten identifiziert werden, von denen 45 Unternehmen und Institutionen zu Expertengesprächen bereit waren. Diese wurden zwischen August und Dezember 2014 durchgeführt. 25 Interviews fanden mit Vertretern von fahrradnutzenden Unternehmen statt, 20 Interviews mit Branchenkennern. Die Anzahl der Interviews in den einzelnen Marktsegmenten und die institutionellen Hintergründe der Gesprächspartner zeigt Tab. 1. Zur qualitativen Ergebniserzeugung wurden die geführten Gespräche aufgezeichnet, transkribiert und mithilfe von MAXQDA 10 kodiert und ausgewertet.

## Formen gewerblicher Lastenradnutzung

Die gewerbliche Fahrradnutzung wird weder in einer amtlichen Statistik noch in bundesweiten Verkehrserhebungen (z. B. KiD 2010 – *Kraftfahrzeugverkehr in Deutschland*) berücksichtigt.

**Tab. 1:** Segmentierung der Interviewpartner

<i>Perspektive</i>	<i>Segmentierung</i>	<i>Interviews</i>	<i>Interviewpartner</i>
<i>Nutzer</i>	Postdienstleistung	2	2 Postdienstleister
	Kurierdienstleistung	5	3 Kurierdienstleister, 2 Lastenradlogistiker
	Paketdienstleistung	2	2 internationale Paketdienstleister
	Lieferservice	4	2 Bio-Lieferdienste, 1 Fischgroßhändler, 1 Pizzadienst
	Werkverkehr	7	2 Fahrzeughersteller, 2 Chemiewerke, 1 Automobilzulieferer, 1 Flughafenbetreibergesellschaft, 1 Messeveranstalter
	Personenwirtschaftsverkehr	5	2 Facility-Management-Dienstleister, 2 Stadtreinigungen, 1 Pflegedienst
<i>Branchenkenner</i>	Fahrradaffine Dienstleistungen	4	2 Beratungsunternehmen, 1 Leasinganbieter, 1 Ingenieurbüro
	Lastenrad-Hersteller oder -Händler	6	5 Hersteller, 1 Händler
	Verbände	4	2 Fahrrad-Verkehrsclubs, 1 Verkehrsclub, 1 Interessenvertreter der Fahrradhersteller
	Verwaltung, öffentliche Einrichtungen	6	3 Landesministerien, 1 kommunale Verwaltung, 1 Berufsgenossenschaft, 1 regionale Verkehrsmanagement-Gesellschaft

Quelle: eigene Erhebung



Vertreter der Fahrradindustrie schätzen die jährlichen Absatzmengen von gewerblich genutzten Lastenrädern im vierstelligen Bereich. Die Sekundärrecherche und die Erkenntnisse aus den Experteninterviews zeigen, dass die Einsatzformen in der gewerblichen Anwendung vielfältig sind. Im Folgenden werden die ermittelten Einsatzformen und ihre wesentlichen Unterscheidungsmerkmale vorgestellt.

### *Postdienstleistung*

Postdienstleistungen umfassen Briefzustellungen bis zu einem Gewicht von 1 000 g. Das Postrad spielt in der Zustellung von Briefen klassisch eine große Rolle. Der Anteil der Fahrradnutzung zur Zustellung der Sendungen ist in diesem Marktsegment besonders hoch, wobei der Einsatz von Pedelecs (Fahrrad mit elektrischer Trethilfe) in der Briefverteilung stetig zunimmt. Bei der *Deutschen Post AG* sind mittlerweile über ein Viertel der Posträder elektrifiziert (*Deutsche Post DHL* 2013). Briefboten fahren durchschnittlich rund 13 km bei 100 bis 200 Stopps (WESSELS 2013). Typischerweise kommen in diesem Marktsegment sogenannte Posträder, also kleinere Lastenräder mit und ohne Anhänger zum Einsatz.

### *Kurierdienstleistung*

Der Kuriermarkt transportiert fast ausschließlich zwischen gewerblichen Kunden Sendungen mit einem Höchstgewicht bis 31,5 kg (entspricht etwa 70 lbs., der Gewichtsgrenze des genehmigungspflichtigen Güterverkehrs in den USA). Neben konventionellen Fahrrädern kommen auch Pkw sowie leichte Nutzfahrzeuge und jüngst auch elektrifizierte ein- oder mehrspurige Lastenräder zum Einsatz. Die Tagesfahrleistung variiert stark, da Fahrradkuriere zum größten Teil als Freelancer arbeiten und selbst entscheiden, ob sie einen Auftrag annehmen. Dennoch übersteigt die tägliche Fahrleistung 100 km nur selten (GRUBER et al. 2014). Kuriere stellen ihre meist zeitkritischen Sendungen im Direktverkehr zu, wobei die Fahrten nur selten im Voraus planbar sind.

### *Paketsdienstleistung*

Dienstleister, die Paketsendungen zustellen, nutzen vorrangig (leichte) Nutzfahrzeuge bis 3,5 t oder bis 7,5 t zulässiges Gesamtgewicht. In diesem Marktsegment spielt der Fahrradeinsatz derzeit noch keine nennenswerte Rolle. Allerdings

pilotieren vor allem international tätige Paketdienste in verschiedenen Projekten die innerstädtische Feinverteilung mit stationären bzw. mobilen Kleindepots. Paketsendungen werden sowohl zwischen Gewerbetreibenden als auch an Privatkunden zugestellt bzw. eingesammelt. Auch hier beträgt das maximale Gewicht einer Einzelzustellung 31,5 kg. Die Auslieferungstouren sind stets ab einem definierten Zeitpunkt am Vortag planbar und umfassen durchschnittlich zwischen 80 und 100 Stopps pro Tag bei einer Fahrleistung von rund 50 bis 80 km. In diesem Marktsegment kommen die gleichen Lastenradformen wie zur Erbringung von Kurierdienstleistungen zum Einsatz.

### *Lieferservice*

Charakteristisch für dieses Marktsegment ist der Transport des Produktes zum Privatkunden, welcher in der Regel durch angestellte Fahrer durchgeführt wird, etwa im Falle von Lieferdiensten für zubereitete Speisen oder frische Lebensmittel. Typische Fahrzeugarten in diesem Marktsegment sind kleine Lastenräder (sog. Bäckerfahrräder), Motorroller, Kleinwagen oder leichte Nutzfahrzeuge, wobei Fahrräder zunehmend an Bedeutung gewinnen. Durch den Einsatz von Pedelecs mit einem isolierten Transportbehälter können Unternehmen, die zubereitete Speisen ausliefern, Pkw-Fahrten insbesondere auf Strecken bis fünf Kilometer substituieren. Ein Beispiel für die Heimzustellung von Nonfood-Produkten ist die innerstädtische *Ikea*-Filiale in Hamburg-Altona, die einen Lastenradtransport anbietet.

### *Werkverkehr*

Dieses Marktsegment betrachtet den Verkehr auf Werksgeländen großer Unternehmen. Charakteristisch hierfür sind die häufig abgeschlossenen Areale, auf denen die Straßenverkehrsordnung (StVO) nicht gilt oder freiwillig zur Anwendung kommt (Intralogistik). Verkehre zwischen Standorten bzw. Filialen eines Unternehmens innerhalb einer Stadt oder Gemeinde spielen in dieser Betrachtung nur eine untergeordnete Rolle. Die Fahrradnutzung hat in diesem Marktsegment Tradition und ist entsprechend verbreitet, allerdings dienen rund vier von fünf Werksrädern vorrangig der Personenmobilität. Die Distanzen variieren stark je nach Größe des Werksgeländes, in einigen Industriearealen liegen die Gebäude teilweise mehrere Kilometer auseinander. Meist kommen robuste konventionelle

Eingangsfahräder oder dreirädrige Lastenräder zum Einsatz, die Einführung von Pedelecs wird nur von wenigen Unternehmen angestrebt. Die Einbindung von Lastenrädern in die Produktion haben bislang nur sehr wenige Unternehmen vollzogen, allerdings gibt es in jüngster Vergangenheit Bestrebungen von Automobilherstellern, Lastenräder stärker in der Intralogistik zu nutzen.

### *Personenwirtschaftsverkehr*

Der Personenwirtschaftsverkehr dient vorrangig zum Erreichen des Einsatzortes – Warentransport spielt hier nur eine untergeordnete Rolle. Dennoch müssen häufig Materialien (etwa Werkzeuge) mitgeführt werden, um die Dienstleistung vor Ort ausüben zu können. Diese Materialien können sehr häufig mit Lastenrädern transportiert werden. Die Unternehmensstrukturen, die erbrachten Dienstleistungen und die Affinität zur Fahrradnutzung sind in diesem Marktsegment sehr heterogen. Einzelne Dienstleister für Facility-Management und Grünpflege haben bereits Erfahrungen mit Lastenrädern gesammelt, ebenso einige Handwerksunternehmen mit geringem Materialaufwand (etwa Schornsteinfeger). Demgegenüber sind Fahrräder in anderen potenziellen Branchen (z.B. ambulante Pflegedienste) nur marginal verbreitet. Die täglichen Fahrtstrecken und die genutzten Fahrradtypen variieren in diesem Marktsegment je nach Einsatzform stark.

Im Folgenden werden die drei identifizierten Einflussfaktorengruppen beschrieben: umfeld-, unternehmens- und fahrzeugspezifische Faktoren.

### **Umfeldspezifische Einflussfaktoren**

Die umfeldspezifischen, externen Merkmale lassen sich weiter unterteilen in regulative Rahmenbedingungen, sozialräumlichen Kontext sowie ökonomisches Umfeld.

#### *Regulative Rahmenbedingungen*

Das gesetzliche Umfeld beeinflusst die Adoption von Nachhaltigkeitsinnovationen wie dem Lastenrad in den jeweiligen Marktsegmenten stark, da die Unternehmen ihre Geschäftsmodelle unter Ausschöpfung der Rahmenbedingungen hin optimieren. Solange die Rahmenbedingungen keine substantiellen Veränderungen erfahren,

werden auch Unternehmen nur kleine Anpassungen implementieren. Ein radikaler Umbau bestehender Konzepte im Wirtschaftsverkehr kann nach Meinung zahlreicher Gesprächspartner mit dem Erlassen neuer Gesetze bewirkt werden.

Ein prominentes Beispiel in vielen Gesprächen ist die Regulierung der Zufahrt von Fußgängerzonen. Eine Verengung der Zeitfenster für die Einfahrt von verbrennungsmotorischen Lieferfahrzeugen würde den Handlungsdruck vor allem auf Kurier-Express-Paket(KEP)-Dienstleister erhöhen und wäre dem Lastenradeinsatz förderlich. Eine ähnliche Reaktion, das heißt eine ökonomische Neubewertung des Belieferungskonzepts zugunsten des Lastenrads, würde auch bei der Einführung einer City-Maut erwartet.

Neben negativen Primäreffekten durch ein zunehmendes Lieferaufkommen (z.B. Staus) werden von kommunalen Vertretern auch negative Sekundäreffekte wie die Gefährdung der übrigen Verkehrsteilnehmer durch das Parken der Zustellfahrzeuge in zweiter Reihe aufgeführt. Kommunen können über die Höhe ihrer Strafmandate und die konsequente Ahndung dieser Ordnungswidrigkeiten einen Anreiz zur Nutzung von alternativen Verkehrsmitteln wie dem Lastenrad schaffen, auf die die genannten negativen Externalitäten nicht zutreffen.

Die Novellierung der Dienstwagenbesteuerung ermöglicht den Arbeitnehmern seit 2013 beim Kauf oder Leasing eines Fahrrades die gleichen steuerrechtlichen Vorteile wie bei der Anschaffung eines Dienst-Kfz. Diese Gesetzesanpassung wurde bislang jedoch wenig kommuniziert und fand folglich nur selten im Rahmen des Fahrradkaufs Anwendung. Der seit 2015 gültige Mindestlohn und die damit steigenden Personalkosten wurden von vielen Befragten insbesondere im Marktsegment Personenwirtschaftsverkehr als wichtiger Treiber für den gewerblichen Fahrradeinsatz genannt. Im Marktsegment Lieferservice wurde von den Gesprächspartnern mitgeteilt, dass die Nutzung von Lastenrädern anstelle von Transportern dazu führt, dass mehr Fahrer angestellt werden mussten. Die zusätzlichen Personalkosten konnten dabei durch die eingesparten Betriebskosten kompensiert werden. Demgegenüber werden bei Paketdienstleistern kaum Beschäftigungseffekte durch den Lastenradeinsatz gesehen, da bereits heute häufig zwei Zusteller pro Fahrzeug tätig sind. Das

Lastenrad wird vorrangig als Erleichterung für den Zustellhelfer gesehen.

Zu den politischen Rahmenbedingungen zählt auch der Einfluss von Interessenvertretungen oder berufsständischen Körperschaften, wie etwa der Handelskammern. Beispielsweise sprach sich die IHK Berlin gegen eine grüne Welle für Radfahrer und Fahrradstreifen an Hauptstraßen aus, da dies die Bedingungen für Lieferverkehre oder andere wirtschaftsrelevante automobiler Verkehrsteilnehmer verschlechtern würde. Demgegenüber stehen Initiativen der IHK München und Oberbayern oder der IHK Stuttgart, die auf die Ausschöpfung der Potenziale gewerblicher Lastenradnutzung abzielen. Fahrradnahe Lobbyorganisationen kritisieren den geringen Stellenwert des Fahrrads gegenüber anderen Verkehrsmitteln im Rahmen der öffentlichen Förderung. Ein Beispiel hierfür ist der Ausschluss von Fahrrädern im Kontext der Elektromobilitätsförderung.

### *Sozialräumlicher Kontext*

Eine weitere Dimension umfeldspezifischer Einflussfaktoren ist der sozialräumliche Kontext, in welchem gewerbliche Lastenradnutzung geschieht. Dies bezieht sowohl die städtebauliche, physische und verkehrsrelevante Infrastruktur als auch die Erlebbarkeit der Innovation und die Fahrradkulturen vor Ort mit ein. Güterverkehr als abgeleitete Nachfrage steht in engem Bezug zur räumlichen Konzentration insbesondere von unternehmensbezogenen Dienstleistungen. Insofern wird ein Großteil der Nachfrage und aufgrund der Nutzungskonkurrenz auch des Problemdrucks in den großstädtischen Zentren generiert. Des Weiteren können auch städtebauliche Kennzeichen wie Altstadtkerne mit geringen Straßenbreiten, Einbahnstraßen oder Kopfsteinpflaster Auswirkungen auf die Fahrradeignung haben. Städte mit topographisch bewegtem Terrain werden als benachteiligt für die Verbreitung von (nicht-motorisierten) Lastenrädern gesehen. Eine Grundvoraussetzung für den Fahrrad- und den Lastenradeinsatz ist für nahezu alle Befragten eine nach aktuellem Stand der Technik ausgebauten Fahrradinfrastruktur für den fließenden Verkehr (z.B. Radfahrstreifen, fahrradfreundliche Gestaltung von Knotenpunkten) und den ruhenden Verkehr (sichere und ausreichende Abstellanlagen).

Positiver Einfluss auf die Adoption von Lastenrädern konnte in Städten mit lokalen Pilot-

projekten erreicht werden. Das sind etwa kommunale Förderprogramme, wie es sie in den Städten München, Bremen, Herne und Graz gibt. Hier werden die Möglichkeiten der gewerblichen Nutzung sichtbar und regen andere Marktteilnehmer und Vertreter weiterer Wirtschaftszweige zur Nachahmung an. Kleinere Unternehmen erhalten dadurch die Möglichkeit, ohne finanzielles Risiko Erfahrungen mit dem Lastenrad zu sammeln. Akteure in lastenradaffinen Wirtschaftszweigen wie der Kurierdienstleistung haben sich zu lokalen oder stadtübergreifenden Netzwerken zusammengeschlossen. Kommunikation und Erfahrungsaustausch findet in sozialen Netzwerken oder während lokaler Events (etwa Kurierwettbewerbe) statt und beschleunigt Diffusionsprozesse innerhalb dieser Berufsgruppe. Der Pioniergeist ist im Selbstverständnis vieler Kuriere fest verankert und führte bereits bei anderen Produkten zu einer Adoption durch breitere Konsumentenschichten (z.B. Kuriertaschen aus Lkw-Plane oder Eingrader).

Daneben findet die gewerbliche Lastenradnutzung auch in Räumen mit hoher privater Fahrradaffinität einen geeigneten Nährboden, beispielsweise durch die Existenz eines spezialisierten Fahrradeinzelhandels. In Deutschland hat sich, so die Einschätzung einzelner Branchenkenner, noch keine flächendeckende Fahrradkultur etabliert, sie ist vielmehr stark regional oder sogar stadtteilabhängig verortet. Während Städte wie Münster oder Oldenburg einen Radverkehrsanteil am Verkehrsaufkommen von rund 40 % aufweisen (DIFU 2012), liegt dieser in Kaiserlautern nur bei 2,5 % und in Chemnitz bei 5,5 % (AHRENS 2010). Nur in einigen großstädtischen Quartieren (z.B. Prenzlauer Berg) sind Lastenräder (vor allem für die Familien- oder Einkaufsmobilität) bereits heute ein Bestandteil des öffentlichen Lebens geworden.

### *Ökonomisches Umfeld*

Durch das stark wachsende Bestellaufkommen im Internet verändern sich die Warensendungen hinsichtlich eines größeren Aufkommens bei kleiner werdenden Sendungsgrößen (ICKERT et al. 2007). Das nachgelagerte Wachstum der KEP-Branche (vgl. BIEK 2014) sehen zahlreiche Gesprächspartner als Treiber für einen verstärkten Lastenradeinsatz. Insbesondere in der Endkundenbelieferung könnten zukünftig von Paketdienstleistern auch kleinere Fahrzeugkategorien wirtschaftlich betrieben werden.

Der wachsende Anspruch des Sendungsempfängers an eine möglichst kurze Zeitspanne zwischen Bestellung und Zustellung, insbesondere innerhalb eines präzisen Zeitfensters noch am selben Tag (*same day delivery*), wird als weiterer Treiber für den Einsatz von kleineren Fahrzeugen gesehen. Branchenkenner erwarten in der Geschäftskundenbelieferung für diese Zustellungsform eine höhere Zahlungsbereitschaft als im Endkundengeschäft. Auch der durch den E-Commerce unter Druck gesetzte stationäre Handel könnte in Zukunft verstärkt Heimzustellung anbieten. Dies betrifft prinzipiell überregional tätige Filialisten, aber auch lokale Allianzen von inhabergeführtem Einzelhandel. Die Neuentwicklung dieser komplementären Geschäftsmodelle bietet die Möglichkeit, Lastenräder frühzeitig konzeptionell einzubinden.

### Unternehmensspezifische Einflussfaktoren

Im Folgenden werden unternehmensspezifische Faktoren im Spannungsfeld von rationaler Abwägung und subjektiven Einstellungen beschrieben, die einen Einfluss auf die Affinität von Unternehmen (Adopter) gegenüber Lastenrädern haben. Zunächst werden die flottenbezogenen Entscheidungsprozesse in Unternehmen nachvollzogen, welche bereits unabhängig von der Bewertung des Lastenrads erste Erkenntnisse zur Eignung spezifischer Marktsegmente ermöglichen. Als zweites Analyseraster bieten unternehmerische (rationale) Strategien unterschiedliche Rahmen für die Lastenrad-Adoption. Drittens wird der Einfluss von Faktoren erläutert, die auf subjektiven Einstellungen und dem Wissen der Entscheider basieren.

### Organisationale Entscheidungsstrukturen bei der Anschaffung gewerblich genutzter Lastenräder

Bei der Untersuchung von unternehmensbezogenen Faktoren im Adoptionsprozess von Lastenrädern ist zunächst von Relevanz, wer im Unternehmen Entscheidungen hinsichtlich der Fahrzeuganschaffung trifft und wie diese Entscheidungen getroffen werden. Die vorgestellte Typologie von NESBITT/SPERLING (2001) lässt sich auf die gewerbliche Lastenradnutzung anwenden, indem die Ausprägungen der beiden strukturierenden Dimensionen Zentralisierung und Formalisierung anhand der Ergebnisse der Expertengespräche abgeleitet werden. Dies führt bei einigen der identifizierten Marktsegmente zu einer Zuordnung zu den von NESBITT/SPERLING (2001) vorgeschlagenen Flottenentscheidungsstilen (vgl. Tab. 2).

Flottenentscheidungen bei Kurierdienstleistern werden autokratisch getroffen. Dies ergibt sich daraus, dass im Regelfall selbstständige Kurierunternehmer mit ihrem eigenen (und einzigen „Flotten“-)Fahrzeug operieren und provisionsbasiert an eine Vermittlungszentrale angeschlossen sind. Nach NESBITT/SPERLING (2001) sind autokratische Entscheidungsstrukturen wie im Kuriergeschäft einer Innovationsadoption aufgrund des dynamischen Wettbewerbsumfeldes förderlich.

Größere Heterogenität innerhalb eines Marktsegments und demnach eine weniger klare Zuordnung zu einem Entscheidungsstil liegt bei Lieferservices vor. Entscheidungen werden häufig bürokratisch getroffen (etwa bei systemgastronomischen Franchise-Konzepten), können aber bei Start-ups und Kleinunternehmen auch

**Tab. 2:** Typologie flottenbezogener Entscheidungsstrukturen für die Marktsegmente gewerblicher Lastenradnutzung

Marktsegment	Zentralisierung	Formalisierung	Typ
Postdienstleistung	niedrig	hoch	bürokratisch
Kurierdienstleistung	hoch	niedrig	autokratisch
Paketsdienstleistung	niedrig	hoch	bürokratisch
Lieferservice	niedrig (bei KU hoch)	hoch (bei KU niedrig)	bürokratisch (bei KU autokratisch / demokratisch)
Werkverkehr	niedrig	hoch	bürokratisch
Personenwirtschaftsverkehr	variabel	variabel	variabel

KU = Kleinunternehmen

Quelle: eigener Entwurf, nach NESBITT/SPERLING 2001



autokratisch oder bei Lastenrad-Kollektiven demokratisch fallen. Größte Heterogenität und alle Formen von Entscheidungsstilen liegen im Personenwirtschaftsverkehr vor.

Das Marktsegment Werkverkehr kann dem bürokratischen Entscheidungstyp zugeordnet werden. Trotz einer breiten Nutzung konventioneller Fahrräder auf Werksgeländen, deren Einsatz und Wartung meist einem hohen Formalismus unterliegen, ist die Einführung von Pedelecs oder Lastenrädern unter anderem aufgrund fehlender Regularien oder fehlender Gefährdungsbewertung gehemmt. So berichtet beispielsweise der Nachhaltigkeitsbeauftragte einer Flughafenbetreibergesellschaft, dass die Genehmigung von Pedelecs auf dem Firmengelände rund drei Jahre gedauert hat und zahlreiche interne Prozesse auslöste: z. B. Prüfung durch Vertreter von Arbeitssicherheit, Verkehrssicherheit, Betriebsrat und Geschäftsführung. Im Zuge des Arbeitsschutzes richten sich vor allem Großunternehmen und Betreiber von Industrieflächen nach Normen und Regelwerken für den Einsatz von Fahrzeugen. Für Fahrräder, insbesondere für Pedelecs und Lastenräder, sind solche Richtlinien nur in Einzelfällen (etwa bei einem Chemiewerk) vorhanden. Der mangelnde Grad an Formalisierung und offene Fragen bei Verkehrssicherheit, Haftung und Versicherung verhindern derzeit die Einführung von Pedelecs auf vielen Betriebsgeländen.

Bürokratische Entscheidungsstrukturen liegen auch in den Marktsegmenten Post- und Paketdienstleistung vor. Gleichwohl unterscheiden sich die Marktsegmente stark im Grad der bisherigen Fahrradnutzung. Für die Zustellung von Paketen stellt das Lastenrad noch eine unbedeutende Größe gegenüber leichten Nutzfahrzeugen dar und ist nur in Pilotprojekten zu finden, in der Briefzustellung kommen Lastenräder bereits zur Anwendung. Folglich differenzieren noch weitere unternehmens- oder fahrzeugspezifische Einflussfaktoren die Firmen mit bürokratischen Entscheidungsstilen in ihrer Affinität für Lastenräder.

#### *Lastenräder als Teil von Unternehmensstrategien*

Als weiterer unternehmensspezifischer Einflussfaktor wirkt die strategische Ausrichtung des Unternehmens. Im Gegensatz zu den fahrzeugunabhängigen Entscheidungsstrukturen können abweichende strategische Ziele zu unterschied-

lichen Betrachtungen des Fahrzeug-Potenzials führen. In diesem Fall wären die Unternehmensstrategien kein direkter adopterspezifischer Faktor, sondern würden indirekt auf die Bewertung der Fahrzeugeigenschaften, also auf die produktspezifischen Faktoren wirken, die weiter unten behandelt werden.

Vor allem Anbieter gewerblichen Güterverkehrs (Marktsegmente Post-, Kurier- und Paketdienstleistung) führen im Rahmen ihrer gewinnorientierten Geschäftsstrategie für ihre Nutzfahrzeuge Berechnungen der Gesamtbetriebskosten durch, welche Kosten für Anschaffung und Betrieb beinhalten (Treibstoff, Verschleißteile, Inspektionen, Reparaturen, Reinigung, Versicherung, TÜV, Steuer, Strafmandate). Gewerbliche Lastenradnutzung birgt aus Sicht von zahlreichen Entscheidern hohe Potenziale zu Kostensenkungen. Gegenteiliger Meinung sind insbesondere Unternehmen, in denen die Fahrzeugwahl eine geringe Relevanz für das Kerngeschäft aufweist. Unternehmen mit großen Werksgeländen führen selten Nutzen-Kosten-Analysen für Werksfahrzeuge durch. Die Fahrradnutzung wird per se als wirtschaftlicher angesehen, da die Entfernungen meist zu groß sind, um sie zu Fuß zurückzulegen, und zu kurz, um ein Kfz und dessen Gesamtbetriebskosten zu rechtfertigen.

Ökologische Beweggründe zur Lastenradnutzung spielen für die meisten Unternehmen eine untergeordnete Rolle. Einige wirtschaftliche Akteure verfolgen hingegen grüne Geschäftsmodelle und stehen der gewerblichen Fahrradnutzung aufgeschlossen gegenüber. Einzelne Start-up-Unternehmen (etwa für die Zustellung von frischen Lebensmitteln) haben ihre Dienstleistungen sogar aktiv an den Potenzialen von Lastenrädern ausgerichtet – das Nutzen eines umweltfreundlichen Verkehrsmittels stellt für diese Art von Unternehmen also keine Alternative, sondern eine Bedingung dar. Entscheidend für die Nachfrage nach umweltfreundlicher Logistik ist die Kundenstruktur von Unternehmen. Obwohl die Mehrheit der Gesprächspartner auf Kundenseite keine höhere Zahlungsbereitschaft für CO<sub>2</sub>-freie Sendungen sieht, haben dennoch mittlerweile viele Unternehmen mit hohem Ressourcenverbrauch (etwa die international tätigen Paketdienstleister) eigene Nachhaltigkeitsstrategien entwickelt. Unternehmerische Nachhaltigkeitsstrategien können eng mit Marketingzielen verknüpft sein. Sind diese auf eine ökologische Unternehmenswahrnehmung gerichtet, kann das

Lastenrad strategisch positioniert werden. Die mit dem Verkehrsmittel Lastenrad verbundenen positiven Konnotationen (ökologisch, effizient, geräuscharm, sozial verträglich) sollen hierbei zum Imagegewinn beitragen. Relevante verkehrliche Wirkung erhalten Marketingbemühungen vor allem dann, wenn sie zeitgleich zur Neukonzeption von Zustellkonzepten auf der letzten Meile führen. Diese weisen in der Regel die schlechteste Umweltbilanz entlang der *supply chain* auf.

Unternehmen, deren aktuelles Geschäftsmodell sensitiv auf politische Maßnahmen reagiert (z. B. Paketdienstleister), stehen dem Test von Lastenrädern aufgeschlossen gegenüber. Sollte beispielsweise der Einsatz von Kraftfahrzeugen in innerstädtischen Gebieten substantiell eingeschränkt werden, sind diese Unternehmen anpassungsfähiger und erlangen somit möglicherweise einen Vorteil gegenüber anderen Marktteilnehmern.

### *Subjektive Einstellungen der Entscheider*

Neben den Entscheidungsstrukturen und strategischen Determinanten beeinflussen auch individuelle Präferenzen und das Engagement von Einzelpersonen die Adoption von Lastenrädern im gewerblichen Kontext. Dies konnte sogar für Großunternehmen mit einem bürokratischen flottenbezogenen Entscheidungsstil bestätigt werden. Entscheidungsträger haben häufig keine persönlichen Erfahrungen mit Pedelecs oder Lastenrädern und bewerten die Informationsbeschaffung hierzu als aufwendig. Wenngleich sich Lastenradhersteller bemühen, den Bekanntheitsgrad ihrer Produkte zu erhöhen, ist das Fachwissen bei den meisten Flottenentscheidern weiterhin gering. Als Beispiel nannten Branchenkenner den geringen Wissensstand z. B. über verfügbare Akkugrößen und elektrische Reichweiten, die gesetzliche Gleichstellung von Pedelecs bis zu 250 Watt Dauerunterstützung mit konventionellen Fahrrädern, die vielfältigen Bauformen oder die transportierbaren Gütermengen. Mangelndes Wissen, fehlende Erfahrung und eine geringe Risikobereitschaft und Experimentierfreude gegenüber alternativen Transportmitteln führen tendenziell zu einer ablehnenden Einstellung gegenüber gewerblicher Fahrradnutzung. Kongruent hierzu berichten Hersteller, dass sich der erfolgreiche Einzug des Lastenrads in den unternehmerischen Kontext oft über das private Interesse und die eigene Erfahrung der Entscheider vollzieht.

Einige Entscheider, die sich aktiv mit den Potenzialen von Lastenrädern beschäftigt haben, formulierten, dass sie es für nicht „zumutbar“ oder „vermittelbar“ hielten, Fahrräder als Standardverkehrsmittel für die Mitarbeiter einzusetzen. Unternehmensvertreter schreiben den potenziellen Nutzern also Denkweisen zu und lehnen die gewerbliche Lastenradnutzung aus darauf bezogener Rücksichtnahme ab. Hierbei wird häufig die Witterung oder die Verkehrssicherheit genannt, aber auch ein mangelndes Interesse an körperlicher Betätigung seitens der Mitarbeiter oder sehr persönliche Motivationen wie die Sorge um Aussehen oder Ansehen. Ferner wurde eine höhere Ablehnungsneigung bei Beschäftigten mit Migrationshintergrund berichtet, die mit der verbreiteten Geringschätzung des Fahrrads gegenüber verbrennungsmotorischen Fahrzeugen in ihren Herkunftsländern zusammenhängt.

Firmen- oder Dienstwagen sind in vielen Branchen wichtige Anreize und kompensieren für begleitende negative Aspekte des Berufs. Der Pkw stellt für viele Entscheider und Nutzer weiterhin ein Prestigeobjekt bzw. Statussymbol dar, welches nicht durch ein Fahrrad substituierbar ist. Im Gegensatz hierzu wurde der Spaßfaktor beim Fahrradfahren von mehreren Experten aus unterschiedlichen Marktsegmenten angesprochen. Fahrer von Lieferservices oder Werk tätige, die für ihre Arbeit (etwa Reparaturen) das Fahrrad nutzen, zeigen in der Regel eine höhere Jobzufriedenheit als Pkw-Nutzer mit denselben Tätigkeitsprofilen.

### **Fahrzeugspezifische Einflussfaktoren**

Im Folgenden stehen die Fahrzeugeigenschaften im Vordergrund, die von den Unternehmen als entscheidend in ihrer Bewertung des Lastenrads genannt wurden. Das breite Spektrum zeigt den produktabhängigen Einfluss auf die Adoption von Lastenrädern im Wirtschaftsverkehr, wenngleich Wirkstärken oder auch Wirkrichtungen einzelner Faktoren zwischen den Marktsegmenten variieren und von den unternehmensspezifischen Merkmalen beeinflusst werden. Die Gliederung der fahrzeugspezifischen Merkmale ist an die von ROGERS (1995) vorgeschlagenen Gruppen angelehnt, wobei abgeleitet aus den Expertengesprächen vor allem drei Kategorien im Vordergrund stehen: Kompatibilität, relativer Vorteil und Erprobbarkeit von Lastenrädern (Tab. 3).

### *Eignung für Transportaufgaben (Kompatibilität)*

Um die Kompatibilität des Fahrzeugs mit den verkehrlichen Anforderungen des Unternehmens zu bewerten, betrachten Entscheider vor allem die Kriterien Materialqualität, Elektrifizierung, Ladekapazität (Größe, Gewicht, Sensitivität und Anzahl der Güter) und Sendungsdistanz.

Häufig wurde von Unternehmen und Branchenkennern die fehlende Qualität des bestehenden Fahrradangebots für gewerbliche Zwecke genannt. Komponenten wie Bremsen werden für Laufleistungen von Privatpersonen konzipiert, im gewerblichen Einsatz tritt allerdings eine erhöhte Abnutzung und größere Wartungsanfälligkeit auf. Beim Test von Fahrrädern eines Dienstleisters für Facility-Management trat bei vier von sieben Rädern ein Totalschaden innerhalb der ersten vier Monate auf (mangelnde Qualität der Rahmen, Tretlager und Laufräder). Branchenkenner bemerken allerdings in den letzten Jahren eine Diversifikation und Qualitätsverbesserung des Marktes für gewerbliche Fahrräder. Die wachsende Verfügbarkeit von leistungsfähigen Elektromotoren wurde hierbei als zentraler positiver Einflussfaktor genannt, da dadurch neue Lastenradkonzepte für den Transport von schweren Gütern über weite Distanzen bei geringer körperlicher Anstrengung möglich werden.

In den Marktsegmenten Post- und Kurierdienstleistung, Werkverkehr und Personenwirtschaftsverkehr bieten Lastenräder für viele Einsatzzwecke ausreichend Ladekapazität. Sie weisen bei diesen kleinteiligen Sendungen folglich einen deutlich wirtschaftlicheren Quotienten aus transportierten Gütern zu Eigengewicht auf. In anderen Marktsegmenten wird die Ladekapazität hingegen als Ausschlusskriterium für eine groß-

flächige Lastenradnutzung genannt. So stehen Lastenräder bei den derzeitigen Heimbeförderungskonzepten des Lebensmitteleinzelhandels nicht zur Debatte, da bereits die Warenkörbe einzelner Bestellungen häufig größer sind als die Zuladungspotenziale der verfügbaren Modelle. Problematisch kann ebenso die Beförderung von sensiblen Gütern sein, etwa bei stoß- oder temperaturempfindlichen Lebensmitteln. Insbesondere im Marktsegment Paketdienstleistung ist aufgrund der Anzahl der Sendungen je Tour keine direkte Substitution eines verbrennungsmotorischen Fahrzeugs durch ein Lastenrad möglich. Dadurch wird ein zusätzlicher Güterumschlag notwendig, etwa im Rahmen eines innerstädtischen Mikrokonsolidierungszentrums oder eines mobilen Depots. Die Auslieferung mit Lastenrädern kann in stark verdichteten Gebieten mit hoher Auftragsdichte und insbesondere in Räumen mit Zufahrtsbeschränkungen für Pkw dennoch wirtschaftlich sein. Allerdings zieht die Implementierung eines alternativen logistischen Systems auf der letzten Meile weitere Umstrukturierungen etwa der Marktgebiete anderer Fahrzeuge nach sich. Nach ROGERS (1995) liegt für diesen Fall neben einem geringen Grad an Kompatibilität auch ein hoher Grad an Komplexität vor, daher stehen Unternehmen diesem Eingriff in die Geschäftsabläufe skeptisch gegenüber.

In puncto Sendungsdistanzen sind Lastenräder sehr gut geeignet für Kurierdienstleistungen sowie Lieferservices in großstädtischen Zentren, wo das Fahrrad zur Distanzüberwindung von bis zu fünf Kilometern ähnlich schnell oder schneller als ein Kraftfahrzeug operieren kann. Gründe hierfür sind das Entfallen der Parkplatzsuche durch die legale Abstellmöglichkeit auf dem Gehweg, das Passieren von gestauten Fahrzeugen, Abkürzungen durch Parks und für Fahrradfahrer freigegebene Einbahnstraßen sowie die

**Tab. 3:** Fahrzeugspezifische Einflussfaktoren

<i>Eignung für Transportaufgaben (Kompatibilität)</i>	<i>Vergleich des Lastenrads mit konventionellen Fahrzeugen (relativer Vorteil/Nachteil)</i>	<i>Verfügbarkeit von Lasten- rädern (Erprobbarkeit)</i>
Materialqualität bei konventionellen Bauteilen (Bremsen, Rahmen, Tretlager, Laufräder etc.)	Betriebskosten	Sichtbarkeit
Elektrifizierung	Effizienz (Schnelligkeit, Wendigkeit, Raumbedarf, Flotten-Diversifizierung)	Testmöglichkeit
Ladekapazität (Sendungsgröße, Sendungsgewicht, Sensitivität der Güter, Anzahl der Güter)	Planbarkeit (Verkehrssensitivität, Parkplatzsuche)	Verfügbarkeit im Handel
Sendungsdistanz	Fahrzeuginstandhaltung, Fahrzeuganpassung	Modellvielfalt
	Werbewirksamkeit	Leihmöglichkeit
	Persönliche Bedürfnisse (Komfort, Witterungsabhängigkeit, Sicherheit)	

Quelle: eigener Entwurf, nach ROGERS 1995

bessere Erreichbarkeit von Hinterhöfen und verkehrsberuhigten Gebieten. Der Einsatz auf der letzten Meile der Handelslogistik scheitert hingegen tendenziell an der zu großen Entfernung zu den Distributionszentren außerhalb der Stadt. Ähnliches gilt für spezialisierte Dienstleistungsunternehmen, deren Marktgebiete in der Regel zu groß für einen ökonomischen Fahrradeinsatz sind.

#### *Vergleich des Lastenrads mit konventionellen Fahrzeugen (relativer Vorteil/Nachteil)*

Entscheider vergleichen die Eignung der Nachhaltigkeitsinnovation Lastenrad mit konventionellen Fahrzeugen (Pkw oder leichte Nutzfahrzeuge). Bewertungskriterien, die zu einem relativen Vorteil oder Nachteil führen können, sind Betriebskosten, Effizienz, Planbarkeit, Fahrzeuginstandhaltung und -anpassung sowie Werbewirksamkeit. Ebenso fließen persönliche Bedürfnisse der Fahrer und Fahrerinnen in die Beurteilung der Fahrzeuge ein.

Sollten die Lastenräder kompatibel mit den Transportaufgaben der Unternehmen sein, sind die deutlich geringeren Betriebskosten ein wesentlicher Vorteil. Diese liegen beispielsweise für einen Kleinwagen im Marktsegment Lieferservice typischerweise bei 300 bis 400 €, für ein Elektro-Lastenrad bei rund 40 € monatlich.

Lastenräder können zur Steigerung der Effizienz und Servicequalität von Unternehmen beitragen. In Räumen mit hoher Siedlungs- und Kundendichte können bei einigen Unternehmen durch die Nutzung des Fahrrads täglich mehr Kunden im gleichen Zeitraum bedient werden. Hier bieten vor allem Schnelligkeit, Wendigkeit und geringer Raumbedarf von Lastenrädern im dichten Stadtverkehr Vorteile gegenüber konventionellen Kraftfahrzeugen. Lastenräder diversifizieren die Fahrzeugflotte, so dass sie ferner indirekt zu einer Effizienzsteigerung des übrigen Fuhrparks beitragen können. Ein Qualitätsmerkmal des Lastenrads stellt die zeitliche Planbarkeit dar. Selbst wenn dieses Verkehrsmittel nicht auf allen innerstädtischen Routen die schnellste Alternative ist, so ermöglicht es dennoch im Gegensatz zu Kraftfahrzeugen aufgrund der geringeren Sensitivität gegenüber Verkehrsstörungen und dem Wegfall der Parkplatzsuche eine genauere zeitliche Planbarkeit der Fahrten.

Bezüglich Fahrzeuginstandhaltung (Wartung und Reparatur) haben Lastenräder gegenüber

gewerblichen Pkw-Flotten mit ihrem sehr dichten Servicenetzwerk einen klaren Nachteil. Insbesondere die Ansprüche von Großunternehmen im Marktsegment Werkverkehr (z. B. Komplett-austausch von defekten Rädern innerhalb von 24 Stunden) können selbst die wenigen auf die Wartung von Fahrradflotten spezialisierten Dienstleister derzeit nicht erfüllen. Ebenso sind weder Spezialbauteile für moderne Elektro-Lastenräder flächendeckend verfügbar noch existiert ein nachgelagerter Markt für branchenspezifische Ausbauten (etwa wechselbare, standardisierte, automatisch verschließbare Transportboxen), welche für Paketdienstleister von hoher Bedeutung sind.

Einer der am häufigsten genannten Treiber für den Einsatz von Lastenrädern ist ihre Werbewirksamkeit. Einerseits kann das Fahrzeug direkt zum Träger von Eigen- oder Fremdwerbung werden und als neuartiges Verkehrsmittel im urbanen Raum die Aufmerksamkeit der Passanten auf sich ziehen, andererseits sehen einige Unternehmen die Fahrzeuge wie oben beschrieben als eine gelungene Form des Nachhaltigkeits-Marketings.

Adopter aus fahrradferneren Branchen wie Pflegedienste erwähnen eher vereinzelt Inkompatibilitäten, die auf persönlichen Bedürfnissen beruhen, wie mangelnden Komfort, Witterungsabhängigkeit und Sicherheit.

#### *Verfügbarkeit von Lastenrädern (Erprobbarkeit)*

Hemmend für die Verbreitung von Lastenrädern ist ihre derzeit noch geringe Verfügbarkeit – ein Kriterium, das eng mit dem bereits beschriebenen sozialräumlichen Kontext verknüpft ist. Die positive Wirkung von lokalen Pilotprojekten (Sichtbarkeit) ist dadurch begründet, dass das Testen von Lastenrädern sehr wichtig für den Adoptionsprozess ist. Vorbehalte, Unwissenheit oder Berührungängste von Entscheidern und Nutzern lassen sich durch eine größere generelle Verfügbarkeit und Modellvielfalt von Lastenrädern abbauen. Allerdings hält neben wenigen auf Lastenräder spezialisierten Geschäften ein Großteil des Fahrradeinzelhandels aufgrund der hohen Kapitalbindung und der geringeren Margen keine Lastenräder vor. Gleichermäßen ist der Verleihmarkt für Lastenräder noch sehr unterentwickelt, er beschränkt sich auf einzelne Fahrzeuge in wenigen Städten und richtet sich vor allem an Privatanutzer.



## Zusammenfassung und Ausblick

Der vorliegende Beitrag soll zum Verständnis der Diffusion von umweltfreundlichen Fahrzeugen im Wirtschaftsverkehr beitragen, indem am Beispiel des Lastenrads das vielfältige Faktorenspektrum dargestellt und strukturiert wird, das die Adoption beeinflusst. Um dieses bisher wenig erforschte Feld explorativ zu beschreiben, wurde ein umfassender qualitativer Ansatz verfolgt, im Zuge dessen 45 leitfadengestützte Expertengespräche mit Unternehmensvertretern und Branchenkennern durchgeführt wurden. Theoretische Erkenntnisse zu organisationalen Kauf- und Flottenentscheidungen ließen sich branchenspezifisch auf die jeweiligen Bedingungen beim Einsatz von Lastenrädern anwenden. Die Gruppierung der identifizierten Einflussfaktoren erfolgte in fahrzeugspezifische (allgemeiner: produktspezifische), unternehmensspezifische (allgemeiner: adopterspezifische) und umfeldspezifische Merkmale.

Bei der Vermarktung von Lastenrädern stehen derzeit einzelne fahrzeugspezifische Kriterien im Vordergrund, etwa der Anschaffungspreis oder das Gewicht der transportierbaren Güter. Die Untersuchungen zeigten allerdings eine größere Bandbreite relevanter Entscheidungskriterien. Lastenräder müssen kompatibel zu den Transportaufgaben der Unternehmen und ihre Anschaffung sowie ihr Betrieb müssen vorteilhaft gegenüber den bestehenden Fahrzeugen sein. Da Lastenräder meist auch nicht aus dem Privatbereich bekannt sind, sollten sie für Probefahrten verfügbar sein. Die Wahrnehmung der einzelnen fahrzeugspezifischen Merkmale hängt stark von den Eigenschaften des Adopters ab. Diese werden determiniert durch die Entscheidungsstrukturen im Rahmen der Flottenanschaffung, die strategische Ausrichtung des Unternehmens sowie den subjektiven Einstellungen der Entscheider. Umfeldspezifische Merkmale bilden die dritte Einflussosphäre. Im Kontext der gewerblichen Lastenradnutzung sind hier insbesondere die regulativen Rahmenbedingungen, der sozialräumliche Kontext und das ökonomische Umfeld von Bedeutung.

Die bestehenden Einsatzformen für Lastenräder im Wirtschaftsverkehr sind vielfältig und wurden mithilfe einer Sekundäranalyse in die sechs Marktsegmente Postdienstleistung, Kurierdienstleistung, Paketdienstleistung, Lieferservice, Werkverkehr und Personenwirtschaftsverkehr gegliedert. Während einige Marktsegmente auch in

sich sehr heterogen sind (etwa Personenwirtschaftsverkehr), zeigen die Akteure in anderen Marktsegmenten eine recht homogene Bewertung der Bedeutung einzelner Einflussfaktoren. So sind beispielsweise Paketdienstleister und Unternehmen, die Lieferservice anbieten, deutlich vulnerabler gegenüber Änderungen in den politischen Rahmenbedingungen (etwa Zufahrtsbeschränkungen für verbrennungsmotorische Fahrzeuge) als andere. Durch die Einführung des Mindestlohns sind bereits zahlreiche Unternehmen mit geringem Lohnniveau im Marktsegment Personenwirtschaftsverkehr unter Handlungsdruck geraten, die Kosten an anderer Stelle, also etwa bei den Flottenfahrzeugen zu senken.

Der Beitrag hat gezeigt, dass sich das Angebot an (elektrischen) Lastenrädern in Qualität und Diversität weiter verbessern muss, um so noch spezifischer die Bedürfnisse der Unternehmen befriedigen zu können und eine größere Marktdurchdringung zu erreichen. Die Aspekte Umweltfreundlichkeit und Werbewirksamkeit werden in der frühen Phase der Diffusion von Lastenrädern von einigen Adoptern zwar als dienlich bewertet, jedoch müssen auch umweltfreundliche Konzepte betriebswirtschaftlich umsetzbar sein. Nur dann werden zahlreiche Demonstrations-, Marketing- oder Pilotvorhaben eine operative Verstetigung erfahren und zu einer substanziellen Emissionseinsparung im städtischen Wirtschaftsverkehr beitragen.

In einem weiteren Schritt sollte die Rolle des städtischen Raums im Adoptionsprozess näher betrachtet werden. Lastenräder sind bisher ein auf (Teilräume von) Großstädten konzentriertes Phänomen. Die dort entstehenden Verkehrsprobleme erhöhen den Handlungsdruck auf Kommunen, begünstigende Rahmenbedingungen für alternative Fahrzeuge zu schaffen. Gleichzeitig sind in diesen Räumen zahlreiche Wirtschaftsakteure mit günstigen unternehmensspezifischen Merkmalsausprägungen ansässig (z. B. demokratische Entscheidungsstrukturen, ökologisch motivierte Geschäftsideen, aufgeschlossene Haltung der Entscheider gegenüber Fahrrädern), so dass dort gewerbliche Lastenradnutzung zum sichtbaren Bestandteil des öffentlichen Raums werden kann. Weiterer Forschungsbedarf besteht in der Quantifizierung der Wirkstärke von Treibern und Hemmnissen in den verschiedenen Marktsegmenten. Die in diesem Beitrag vorgenommene Darstellung des komplexen Spektrums an Einflussfaktoren auf die Adoption des Lastenrads liefert dafür wichtige erste Anhaltspunkte.

## Anmerkung

1 Die Ergebnisse dieses Artikels basieren auf dem im Rahmen des Forschungsprogramms „Stadtverkehr“ vom Bundesministerium für Verkehr und digitale Infrastruktur (BMVI) unter Projekt-Nummer FoPS 70.0884/2013 laufenden Forschungsvorhaben „Untersuchung des Einsatzes von Fahrrädern im Wirtschaftsverkehr“. Das Bundesministerium für Verkehr und digitale Infrastruktur hat hierzu das Deutsche Zentrum für Luft- und Raumfahrt e.V. (DLR) mit den voraussichtlich im Dezember 2015 abgeschlossenen Forschungsarbeiten beauftragt. Die Verantwortung für den Inhalt liegt ausschließlich bei den Autoren.

## Literatur

- AHRENS, G.-A. (2010): Sonderauswertung zur Verkehrserhebung „Mobilität in Städten – SrV 2008“: Städtevergleich. Dresden.
- AJZEN, I. (1991): The theory of planned behavior. In: *Organizational Behavior and Human Decision Processes*, (50), 179–211.
- BECKMANN, K. (2012): Güter- und Wirtschaftsverkehr in Städten und Stadtregionen – Megatrends und Konsequenzen für Handlungsstrategien und Handlungsansätze. In: Arndt, W.-H. (Hrsg.): *Städtischer Wirtschaftsverkehr – Commercial/Goods Transport in Urban Areas – Transports Commerciaux/Marchandise en Ville. Dokumentation der Internationalen Konferenz 2012 in Berlin*. Berlin. (Difu-Impulse, Band 3/2013).
- BIEK (*Bundesverband Internationaler Express- und Kurierdienste e.V.*) (2014): Wirtschaftliche Bedeutung der KEP-Branche. Die Kurier-, Express- und Paketbranche in Deutschland. Berlin.
- BROWNE, M./ALLEN, J./LEONARDI, J. (2011): Evaluating the use of an urban consolidation centre and electric vehicles in central London. In: *IATSS Research*, (35)1, 1–6.
- Deutsche Post DHL* (2013): Deutsche Post entwickelt neues Elektrofahrrad für die Briefzustellung. Pressemitteilung vom 4.6.2013. Bonn. Internet: [http://www.dpdhl.com/de/presse/pressemitteilungen/2013/deutsche\\_post\\_entwickelt\\_elektrofahrrad\\_briefzustellung.html](http://www.dpdhl.com/de/presse/pressemitteilungen/2013/deutsche_post_entwickelt_elektrofahrrad_briefzustellung.html), 9.3.2015.
- DIFU (*Deutsches Institut für Urbanistik*) (Hrsg.) (2012): *Forschung Radverkehr. Fahrradnutzung im Städtevergleich. Analyse A-7/2012*. Berlin. Internet: [http://www.nationaler-radverkehrsplan.de/transferstelle/downloads/for\\_a-07.pdf](http://www.nationaler-radverkehrsplan.de/transferstelle/downloads/for_a-07.pdf), 19.3.2015.
- DÜTSCHKE, E./SCHNEIDER, U./PETERS, A./PAETZ, A.-G./JOCHER, P. (2011): Moving towards more efficient car use – what can be learnt about consumer acceptance from analysing the cases of LPG and CNG? In: *eceee Summer Study proceedings*, (10), 1939–1950.
- Europäische Kommission* (2011): Roadmap to a single European transport area. Towards a competitive and resource efficient transport system. White Paper. Internet: <http://eur-lex.europa.eu/legal-content/EN/TXT/PDF/?uri=CELEX:52011DC0144&from=EN>, 20.1.2015.
- FORSCHT, T./SWOBODA, B. (2007): Käuferverhalten. Wiesbaden.
- GELBRICH, K. (2007): Innovation und Emotion: die Funktion von Furcht und Hoffnung im Adoptionsprozess einer technologischen Neuheit für die Kunststoffbranche. Cuvillier.
- GLOBISCH, J./SCHNEIDER, U./DÜTSCHKE, E. (2013): Acceptance of electric vehicles by commercial users in the electric mobility pilot regions in Germany. In: *eceee Summer Study proceedings*, (12), 973–983.
- GRUBER, J./KIHM, A./LENZ, B. (2014): A new vehicle for urban freight? An ex-ante evaluation of electric cargo bikes in courier services. In: *Research in Transportation Business & Management*, (11), 53–62.
- HOLGUÍN-VERAS, J./AMAYA-LEAL, J./WOJTOWICZ, J./JALLER, M./GONZÁLEZ-CALDERÓN, C./SÁNCHEZ-DÍAZ, I./WANG, X./HAAKE, D.G./RHODES, S.S./HODGE, S.D./FRAZIER, R.J./NICK, M.K./DACK, J./CASINELLI, L./BROWNE, M. (Eds.) (2014): Improving freight system performance in metropolitan areas. A planning guide. Washington D.C. (NCFRP – National Cooperative Freight Research Program, Report 33). Internet: [https://coe-sufs.org/wordpress/ncfrp38/psi/demand\\_land\\_use/msp/](https://coe-sufs.org/wordpress/ncfrp38/psi/demand_land_use/msp/), 10.9.2014.
- ICKERT, L./MATTHES, U./ROMMERSKIRCHEN, S./WEYAND, E./SCHLESINGER, M./LIMBERS, J. (2007): Abschätzung der langfristigen Entwicklung des Güterverkehrs in Deutschland bis 2050. Basel. Internet: [http://www.bmvi.de/SharedDocs/DE/Anlage/VerkehrUndMobilitaet/Schiene/gueterverkehrs-prognose-2050.pdf?\\_\\_blob=publicationFile](http://www.bmvi.de/SharedDocs/DE/Anlage/VerkehrUndMobilitaet/Schiene/gueterverkehrs-prognose-2050.pdf?__blob=publicationFile), 12.3.2015.
- KONING, M./CONWAY, A. (2014): Biking for goods is good. An assessment of CO<sub>2</sub> savings in Paris. In: *Conference proceedings, Transportation Research Board 94th Annual Meeting 2015*.
- KUTTER, E. (Hrsg.) (2004): Wirtschaftsverkehr in Städten – Wege aus der Krise. Kolloquium / 1. Europäisches Kommunalpolitisches Verkehrsforum, 13. und 14. November 2003 in Dresden. Bergisch Gladbach. (Schriftenreihe der Deutschen Verkehrswissenschaftlichen Gesellschaft, Reihe B, Seminar 269).
- LANGERT, M. (2007): Der Anbau nachwachsender Rohstoffe in der Landwirtschaft Sachsen-Anhalts und Thüringens. Eine innovations- und diffusionstheoretische Untersuchung. Halle-Wittenberg. (Diss. an der Philosophischen Fakultät I der Martin-Luther-Universität Halle-Wittenberg).
- LENZ, B./RIEHLE, E. (2012): Bikes for urban freight? Experience for the European case. In: *Conference proceedings, Transportation Research Board 92nd Annual Meeting 2013*.
- LITFIN, T. (2000): Adoptionsfaktoren. Empirische Analyse am Beispiel eines innovativen Telekommunikationsdienstes. Wiesbaden.
- LÜTHJE, C. (2007): Die Verbreitung von Innovationen. In: Birbaumer, N./v. Rosenstiel, L. (Hrsg.): *Enzyklopädie der Psychologie, Serie III: Wirtschafts-, Organisations- und Arbeitspsychologie. Band 5: Marktpsychologie*. Göttingen, 291–341.
- MAES, J. (2014): Welfare economic evaluation of urban freight distribution concept with cargo cycles. In: *Conference proceedings, Transportation Research Board 94th Annual Meeting 2015*.

- MENGE J. / HORN B. (2014): Kapitel 2.4.6.2: Fahrradnutzung im Wirtschaftsverkehr. In: Bracher, T. / Dziekan, K. / Gies, J. / Holzapfel, H. / Huber, F. / Kiepe, F. / Reutter, U. / Saary, K. / Schwedes, O. (Hrsg.): HKV – Handbuch der kommunalen Verkehrsplanung. 69. Ergänzungslieferung. Berlin.
- NESBITT, K. / SPERLING, D. (2001): Fleet purchase behavior. Decision processes and implications for new vehicle technologies and fuels. In: Transportation Research Part C: Emerging Technologies, (9)5, 297–318.
- NORDENHOLZ, F. (2012): Elektrische Zweiräder für den innerstädtischen Güterverkehr? Das Beispiel der Speisenauslieferungsbranche in Berlin. Berlin. (Masterarbeit am Geographischen Institut der Humboldt-Universität zu Berlin).
- OZAKI, R. / SEVASTYANOVA, K. (2011): Going hybrid. An analysis of consumer purchase motivations. In: Energy Policy, (39), 2217–2227.
- PLÖTZ, P. / SCHNEIDER, U. / GLOBISCH, J. / DÜTSCHKE, E. (2014): Who will buy electric vehicles? Identifying early adopters in Germany. In: Transportation Research Part A: Policy and Practice, (67), 96–109.
- ROGERS, E. M. (1995): Diffusion of innovations. New York.
- SIERZCHULA, W. (2014): Factors influencing fleet manager adoption of electric vehicles. In: Transportation Research Part D: Transport and Environment, (31), 126–134.
- Transport for London TfL* (Eds.) (2009): Cycle freight in London. A scoping study. London. Internet: <https://www.tfl.gov.uk/cdn/static/cms/documents/cycle-as-freight-may-2009.pdf>, 17. 7. 2012.
- VERLINDE, S. / MACHARIS, C. / MILAN, L. / KIN, B. (2014): Does a mobile depot make urban deliveries faster, more sustainable and more economically viable: results of a pilot test in Brussels. In: Transportation Research Procedia, (4), 361–373.
- WESSELS, J. (2013): Cyclelogistics. Die Entwicklung eines neuen Pedelecs für die Briefzustellung bei der DP AG. Vortrag auf dem Forschungsforum „Mobilität für Alle“ 2013. Wien.
- WOLF, A. / SEEBAUER, S. (2014): Technology adoption of electric bicycles. A survey among early adopters. In: Transportation Research Part A: Policy and Practice, (69), 196–211.



City Logistics 2019

# Drivers and barriers for the adoption of cargo cycles: An exploratory factor analysis

Lars Thoma<sup>a,b\*</sup>, Johannes Gruber<sup>a,c</sup>

<sup>a</sup>German Aerospace Centre, Institute for Traffic Research, Rudower Chaussee 7, 12489 Berlin, Germany

<sup>b</sup>Humboldt-Universität zu Berlin, Department of Psychology, Unter den Linden 6, 10099 Berlin, Germany

<sup>c</sup>Humboldt-Universität zu Berlin, Department of Geography, Unter den Linden 6, 10099 Berlin, Germany

---

## Abstract

A variety of drivers and barriers for the adoption of cargo cycles has been described in contemporary academic literature. This paper aims at reducing this complexity by identifying their underlying factor structure. To achieve this aim, 389 organizations interested in cargo cycles rated their agreement towards the adoption of cargo cycles with 23 literature-derived drivers and barriers. An exploratory factor analysis yielded three driver factors (soft factors, cost benefits and urban advantages) and four barrier factors (vehicle limitations, worries and perils, riders' concerns and infrastructure constraints) which are interpreted and discussed.

© 2020 The Authors. Published by Elsevier B.V.

This is an open access article under the CC BY-NC-ND license (<http://creativecommons.org/licenses/by-nc-nd/4.0/>)

Peer-review under responsibility of the scientific committee of City Logistics 2019

**Keywords:** cargo cycles; urban logistics; drivers and barriers; exploratory factor analysis (EFA)

---

## 1. Introduction

Urban freight transport has been growing considerably in past years (Schubert et al., 2014). While benefiting the economy, transport-related externalities such as congestion and emissions burden most cities in the world. In Germany, several municipalities took unprecedented measures and imposed bans for older diesel vehicles.

Cargo cycles have proven to be a feasible solution for various last-mile operations with a substantial potential for shifting trips away from conventional vehicles (Gruber and Rudolph, 2016). Although cargo cycles are increasingly used in urban logistics, they still play a marginal role in urban logistics compared to conventional vehicles. As local

---

\* Corresponding author. Tel.: +49 30 67055 9613

E-mail address: [lars.thoma@dlr.de](mailto:lars.thoma@dlr.de)

and federal policy-makers progressively promote cargo cycle use, a detailed understanding of the drivers and barriers for the adoption of cargo cycles is crucial.

Several studies and reports that have described a variety of drivers and barriers for the adoption of cargo cycles. One of the first and most extensive collections, Transport for London (2009), performed several case studies and expert interviews in order to produce a list of pros (purchase cost, running costs, parking costs and congestion-charge, speed in congestion, driver training requirement, low environmental impact) and cons (security, limited range and payload, driver fatigue, seasonality) for the adoption of cargo cycles.

Cyclelogistics is a multi-phase European project trialing and supporting cargo cycle use among municipalities, companies, and households (Vijayakumar, 2017). Given the bicycle-advocating nature of the project, cargo cycles' advantages are described to a greater extent. However, when evaluating pilot projects, insights concerning barriers can be derived, such as the need for increased political regulation with regards to restricting conventional vehicles' use and providing more financial incentives for cargo cycle use (Wrighton and Reiter, 2016).

Vijayakumar (2017) provided a Toronto-based perspective on the benefits and barriers of cycle logistics. Among the benefits described were emissions reduction, increased efficiency (cost savings and/or speed advantages) compared to conventional vehicles, improved traffic flow, positive image and health. Barriers were seen in bicycle infrastructure, operative implementation barriers when exchanging logistics data, a lack in cultural understanding, and unclear Canadian e-bike regulations).

Drawing on project reports and expert interviews, an extensive overview of more than 30 parameters influencing the adoption of cargo cycles was provided by Rudolph and Gruber (2017). These parameters have been categorized along the adoption process and distinguish between environment-specific, company-specific, and product-specific elements of influence.

In summary, an extensive qualitative description of the drivers and barriers for the adoption of cargo cycles has been provided in literature. However, to the best of our knowledge, this variety of items has not yet been quantified in order to identify an evidence-based overarching factor structure. In addition, few data exist to indicate which of these items rank higher in importance than others. Some issues might clearly be seen as advantages or disadvantages of cargo cycles by most potential users, other parameters might be seen more ambiguously. Hence, this paper aims at finding an evidence-based classification of the drivers and barriers for the adoption of cargo cycles, as well as providing a quantification of these factors by executing an exploratory factor analysis.



Fig. 1. Cargo cycles offered for testing within this research project. Photo: DLR



## 2. Method

### 2.1. Project background and sample

Data for this study were collected in the context of Europe's largest public cargo cycle testing scheme conducted by the German Aerospace Centre (DLR) and funded by the German Federal Ministry for the Environment. The cargo cycle testing scheme (titled "Ich entlaste Städte", meaning "Taking the load off cities") consists of 150 cargo cycles that are offered to both public and private organizations for testing over a three-month-period (see Figure 1 for an image of cargo cycles offered in this project). Organizations interested in participating were given an online questionnaire including a set of 23 items about potential drivers and barriers of cargo cycle use as listed in Table 1. The respondents stated their agreement with these statements in randomized order on a 5-point-Likert scale ranging from "I don't agree" (1) to "I completely agree" (5).

Table 1. Set of 23 items with positive and negative statements concerning cargo cycle use

Item (with direction)	Item wording as presented to the survey respondents
– Spatial coverage	Cargo cycles cannot cover our business catchment area.
– Loading capacity	The load capacity of the cargo box is insufficient.
– Weather	Bad weather restricts usability of cargo cycles.
+ Electric range	The electric range is sufficient for our purposes.
+ Health	Cargo cycles promote employees' health.
+ Image	Cargo cycles promote our image.
+ Travel time reliability	Cargo cycles' travel times can be planned reliably (not affected by congestion)
– Theft	The cargo cycle could get stolen.
– Organizational effort	The implementation of cargo cycles requires organizational effort.
– Implementation cost	The implementation of cargo cycles is costly.
– Payload damage	The payload could be damaged during transport.
+ Purchase cost	Cargo cycles are cheaper than motor vehicles.
+ Maintenance cost	Cargo cycles have lower maintenance costs than motor vehicles.
+ Flexible parking	Cargo cycles offer greater flexibility concerning parking or loading/unloading.
+ Accessibility	Using cargo cycles I can reach access-restricted areas (e.g. pedestrian zones)
+ Environmental goals	Cargo cycles help to reach corporate environmental goals.
+ Travel time	I reach my destinations faster by cargo cycle than by car.
– Employee acceptance	Employees will not accept cargo cycles.
– Handling experience	Riding cargo cycles requires experience.
+ Fun	Employees enjoy using cargo cycles.
– Cycle infrastructure	Cycle infrastructure is inadequate.
– Safety	Using cargo cycles in traffic is dangerous.
– Service network	There is no service network for cargo cycles.

A total of 389 ratings collected between May and December 2018 were included into analysis for the present article. The sample consists of 80 female and 309 male respondents. Most respondents are fleet decision-makers in their organization (92%). The mean age is 43.9 years (SD = 10.3). Respondents represent a broad variety of organization types (54% self-employed, 20% private corporations, 12% public organizations and 14% nonprofit or other organizations), as well as sizes, with a share of 63% corresponding to organizations with a maximum of 9 employees. Other organization sizes were, 10-24 employees (14%), 25-49 employees (9%), 50-250 employees (8%) and more than 250 employees (7%).

### 2.2. Statistical analysis

Exploratory factor analysis (EFA) is a data reduction method applied to a larger pool of items in order to identify an underlying factor structure (Field, 2013, Mulaik, 2009). We used principal component factor extraction with varimax rotation, because it allows for a clear interpretation of the factor structure by aiming for each item to load highly on one factor and minimizing loadings on the remaining factors. The number of factors was determined by

using standard recommendations of scree cut-off points (Cattell, 1966) and the Kaiser rule, extracting only factors with an eigenvalue larger than 1 (Kaiser, 1960).

The data's suitability for factor analysis was determined prior to analysis by applying a Kaiser-Meyer-Olkin (KMO) criterion. In the present sample, the KMO criterion was 0.71 which is above recommended cut-offs ranging between 0.5 (Cleff, 2015, Field, 2013, Hartas, 2015) and 0.6 (Möhring and Schlütz, 2013, Tabachnick and Fidell, 2007). Additionally, Bartlett's test hypothesizing no correlation between items produced a significant result ( $p < .001$ ), indicating a satisfactory number of correlations between items (Bartlett, 1954). Taken together, the KMO criterion and Bartlett's test indicate the appropriateness of the data set for EFA.

In a second step, unweighted factor scores for each respondent were calculated by averaging item scores of the three or four items with the highest loading on a specific factor. Scores of items with negative loading are reversed. Finally, factor scores were averaged across all respondents to calculate total mean scores.

### 3. Results

#### 3.1. Factor structure

Exploratory factor analysis yielded seven factors. Three of these factors describe drivers for the adoption of cargo cycles, while four factors represent barriers for the adoption of cargo cycles. Item loadings on these factors are listed in Table 2.

Table 2. Results of the exploratory factor analysis displayed in the rotated component matrix. Item loadings are presented on the seven factors, as well as communality ( $h^2$ ) for each item and total explained variance in % for each factor.

Item	F1 Vehicle limitations	F2 Soft benefits	F3 Worries & perils	F4 Cost benefits	F5 Urban advantages	F6 Riders' concerns	F7 Infrastructure constraints	$h^2$
Spatial coverage	<b>.641</b>	-.108	.033	-.084	.057	.078	-.063	.44
Loading capacity	<b>.593</b>	-.267	.122	.025	.014	-.215	.218	.53
Weather	<b>.524</b>	-.084	.229	.165	-.210	.241	.042	.47
Electric range	<b>-.497</b>	-.213	.180	.378	.106	-.041	-.125	.50
Health	-.041	<b>.673</b>	.088	.127	.024	-.119	-.051	.50
Image	.004	<b>.615</b>	-.133	-.028	.324	.189	.060	.54
Travel time reliability	-.238	<b>.547</b>	.121	.225	.135	-.089	.024	.45
Theft	-.141	.057	<b>.646</b>	-.044	-.067	.172	.144	.50
Organizational effort	.228	.016	<b>.590</b>	-.067	.148	.297	-.234	.57
Implementation cost	.153	.071	<b>.583</b>	-.112	.129	-.329	.105	.52
Payload damage	.085	-.062	<b>.466</b>	.163	-.378	.116	.289	.49
Purchase cost	-.257	.017	-.074	<b>.752</b>	.045	.065	.089	.65
Maintenance cost	.130	.220	-.103	<b>.604</b>	.091	-.032	-.215	.50
Flexible parking	.028	.174	.013	<b>.486</b>	.263	-.058	-.010	.34
Accessibility	.033	.060	-.002	.156	<b>.697</b>	.028	-.020	.52
Environmental goals	-.065	.218	.011	.149	<b>.524</b>	.030	.244	.41
Travel time	-.405	.075	.208	.218	<b>.463</b>	-.168	.004	.50
Employee acceptance	.321	-.023	.026	.068	-.044	<b>.653</b>	.084	.54
Handling experience	-.245	-.032	.261	-.072	.050	<b>.607</b>	.028	.51
Fun	-.270	.443	.077	.117	-.010	<b>-.462</b>	-.065	.51
Cycle infrastructure	.020	.030	-.042	-.076	.083	-.025	<b>.719</b>	.53
Safety	.159	.183	.246	-.042	-.276	.292	<b>.527</b>	.56
Service network	.050	-.297	.210	-.020	.195	.049	<b>.484</b>	.41
Explained Variance (%)	13.9	9.1	6.2	5.8	5.3	5.0	4.6	

### 3.2. Factor scores

Figure 2 shows the unweighted factor scores, averaged across the complete sample. These factor scores quantify how strongly respondents agree with the suggested drivers and barriers.

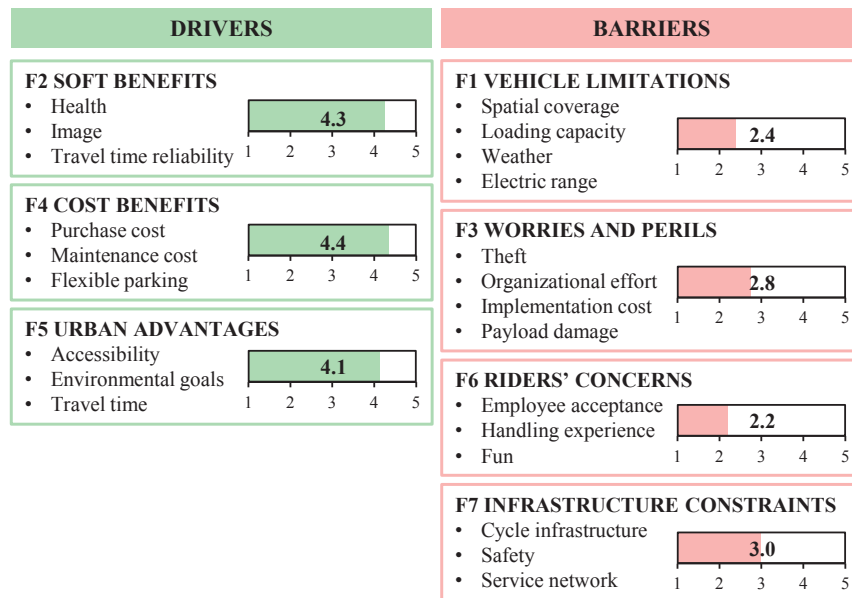


Fig. 2. Allocation of the surveyed 23 items to the seven factors F1 to F7; unweighted factor scores showing respondents' mean agreement.

## 4. Interpretation

### 4.1. Factor structure

In this section, seven factors will be interpreted in order of their explained variance. To facilitate readability, the item names are printed in *italics* (for example *electric range*) and numeric item loadings are not stated in the following descriptions. Please refer to Table 2 for the exact item loadings.

**F1 Vehicle limitations.** The first factor represents common critical perceptions about cargo cycles' limitations. Most importantly, these limitations concern range, both in terms of *spatial coverage* and in terms of *electric range*, *payload capacity* and *weather dependency*. Another item with a lower though still substantial loading on this factor is *travel time*, implying that this factor is associated with considering cars to be faster than cargo cycles.

**F2 Soft benefits.** The second factor describes benefits that are of secondary importance. More specifically, this factor includes high item loadings for soft aspects such as *health* and *image* benefits of cargo cycles. To a lesser extent, reliable *travel times* are also included in this factor. *Fun* is the secondary item with the highest loading on this factor, equally describing a soft aspect related to cargo cycles.

**F3 Worries and perils.** The third factor describes worries about risks associated with cargo bikes. It shows high item loadings for hazards such as *theft* and *payload damage*, and worries about *implementation cost* and *implementation effort*. Not surprisingly, of all secondary items on this factor, *safety* reaches the highest loading.

**F4 Cost benefits.** The fourth factor includes high item loadings for the costs associated with cargo cycles. More precisely, items covering lower *purchase cost* and *maintenance costs* as compared to motor vehicles display high loadings on this factor, as well as the advantages of free and flexible *parking*. Another item with a lower loading on



this factor includes *electric range*, which is a critical parameter and imperative to be considered when assessing the economic benefits of shifting to cargo cycles.

*F5 Urban advantages.* The fifth factor combines items that represent advantages of cargo cycles that are particularly relevant in urban environments, such as *accessibility* of access-restricted areas (e. g., pedestrian zones), reaching *environmental goals* (such as lower emissions) and *travel time* advantages as compared to cars.

*F6 Riders' concerns.* The sixth factor involves concerns about cargo cycle rejection by riders. Items with high loadings on this factor include low *employee acceptance* of cargo cycles, concerns about the high level of *handling experience* required for navigating cargo cycles and whether the riders think it is *fun* to use the cargo cycle.

*F7 Infrastructure constraints.* The seventh factor represents infrastructural limitations to the use of cargo cycles. Most importantly, the lack of adequate cycle *infrastructure* has by far the highest loading on this factor, followed with some distance by *safety* risks in street traffic and the lack of a professional *service network* for cargo cycles. *Payload damage* has the highest secondary loading on this factor, suggesting that jolting due to bad infrastructure such as uneven surfaces might result in damaging the payload.

#### 4.2. Factor scores

Figure 2 shows the unweighted factor scores, averaged across the complete sample. These factor scores quantify how as shown in Figure 2, the three identified drivers receive higher agreement ratings than barriers. This preference might be explained by the fact that our sample consists of organizations which are interested in testing cargo cycles and therefore likely have a positive general attitude towards cargo cycles.

With regards to the drivers, there are only minor differences between the three factors. The factor with the strongest agreement rating is *cost benefits* (F4). This result indicates that among organizations interested in testing cargo cycles, the financial advantages related to cargo cycles are considered as particularly pertinent. However, as *soft benefits* (F2) follows closely, it is evident that not only economic considerations spark interest in cargo cycles, but also secondary benefits are commonly associated with this type of vehicle.

The factor with the lowest agreement ratings among the drivers is *urban advantages* (F5). Two explanations are conceivable for this result. First, not all respondents are planning to use the cargo cycle within dense city centres, so it seems logical that the advantages summarized in this factor are of lower relevance to them. Second, it is possible that even for respondents wishing to use the cargo cycle in city centres, the advantages summarized by this factor are of lower relevance as compared to the other two driving factors.

With regards to the factors describing barriers for the use of cargo cycles, there is a substantial advance of *infrastructure constraints* (F7). This seems highly plausible as to date, very little bicycle infrastructure in German cities is suitable with regards to surface quality and width for cargo cycles. This lack of infrastructure is likely also related to safety issues in motorized street traffic for cargo cycles. Additionally, as cargo cycles are not yet widespread, only few service providers offer maintenance services. Taken together, the comparatively high agreement ratings for this factor suggest barriers for the adoption of cargo cycles with regards to infrastructure.

*Worries & perils* (F3) reach the second highest agreement ratings among the barrier factors. It is worth noting that most of respondents have little experience with cargo cycles. Hence it is conceivable that worries about the implementation of cargo cycles into organizational routines are of particular pertinence. Moreover, worries about theft and damage are possibly particularly relevant prior to their own testing experience, as worries tend to be of greater importance prior to confronting them with real life experiences.

Ranging third among the barriers, *vehicle limitations* (F1) seem of minor relevance to the respondents. This is possibly due to the fact that the sample consists of interested users who already considering cargo cycles as suitable transportation options for their organizations, likely after assessing the given limitations when switching operations to a smaller vehicle.

Finally, *riders' concerns* (F6) reach the lowest score of 2.0 which is equivalent to the reply option, "I rather don't agree". This finding might be interpreted as that respondents generally represent a sample of interested cargo cycles users who are expecting that riding the cargo cycle tends to be a rather fun activity. In addition, respondents represent largely fleet decision-makers and represent rather small companies, which seem to be less concerned about employee acceptance.

As the present sample consists of companies that are interested in testing cargo cycles, the sample can be characterized as representing the potential new generation of cargo cycles users. Therefore, the factor scores reported in this paper could be relevant to policy makers wishing to increase cargo cycle usage. Considering that the driving factors are rated quite closely together on a generally high level, it may be inferred that the potential next generation of cargo cycle users are already convinced about the benefits of using cargo cycles. This implies that political incentives promoting these driving factors might not be necessary. In contrast, the diverging factor scores among the barriers might indicate that infrastructure constraints are perceived as a major obstacle to date for the adoption of cargo cycles. Hence, our results might be interpreted as signaling the necessity to improve cargo cycle related infrastructure as a priority.

## 5. Conclusion

The present paper described an exploratory factor analysis of 23 literature-derived drivers and barriers for the adoption of cargo cycles. The analysis yielded seven factors (three drivers and four barriers). This factor structure reduces the complexity of a large variety of items influencing the adoption of cargo cycles. This classification can serve as theoretical framework for further research about the adoption of cargo cycles. One potential application of our results is to identify how different types of cargo cycle users can be differentiated with regards to their ratings in these seven factors.

In addition, we calculated overall agreement scores for the respective factors. The results indicate higher agreement ratings for drivers than for barriers. The barrier with the highest agreement rating is infrastructure, suggesting that policy-makers could address these concerns in order to promote cargo cycle use.

## Acknowledgements

The authors acknowledge the financial support by the German Federal Ministry for the Environment.

## References

- Bartlett, M. S. 1954. A note on the multiplying factors for various  $\chi^2$  approximations. *Journal of the Royal Statistical Society. Series B (Methodological)*, 296-298.
- Cattell, R. B. 1966. The scree test for the number of factors. *Multivariate behavioral research*, 1, 245-276.
- Cleff, T. 2015. *Deskriptive Statistik und Explorative Datenanalyse. Eine computergestützte Einführung mit Excel, SPSS und STATA. 3., überarb. u. erw.* Wiesbaden: Gabler Verlag.
- Field, A. 2013. *Discovering statistics using IBM SPSS statistics*, sage.
- Gruber, J. & Rudolph, C. 2016. *Untersuchung des Einsatzes von Fahrradern im Wirtschaftsverkehr (WIV-RAD): Schlussbericht FoPS 70.0884/2013.*
- Hartas, D. 2015. *Educational research and inquiry: Qualitative and quantitative approaches*, Bloomsbury Publishing.
- Kaiser, H. F. 1960. The application of electronic computers to factor analysis. *Educational and psychological measurement*, 20, 141-151.
- Möhring, W. & Schlütz, D. 2013. *Handbuch standardisierte Erhebungsverfahren in der Kommunikationswissenschaft*, Springer-Verlag.
- Mulaik, S. A. 2009. *Foundations of factor analysis*, Chapman and Hall/CRC.
- Rudolph, C. & Gruber, J. 2017. Cargo cycles in commercial transport: Potentials, constraints, and recommendations. *Research in Transportation Business & Management*, 24, 26-36.
- Schubert, M., Kluth, T., Nebauer, G., Ratzenberger, R., Kotzagiorgis, S., Butz, B., Schneider, W. & Leible, M. 2014. *Verkehrsverflechtungsprognose 2030. Zusammenfassung der Ergebnisse.* Freiburg/München/Aachen/essen: BVU/ITP/IVV/planco.
- Tabachnick, B. G. & Fidell, L. S. 2007. *Using multivariate statistics*, Allyn & Bacon/Pearson Education.
- Transport For London 2009. *Cycle freight in London: A scoping study.* London: Transport for London.
- Vijayakumar, N. 2017. *Cyclelogistics.* Toronto: Pembina Institute.
- Wrighton, S. & Reiter, K. 2016. CycleLogistics—moving Europe forward! *Transportation Research Procedia*, 12, 950-958.

# Travel Time Differences between Cargo Cycles and Cars in Commercial Transport Operations

Transportation Research Record  
2019, Vol. 2673(8) 623–637  
© National Academy of Sciences:  
Transportation Research Board 2019  
Article reuse guidelines:  
sagepub.com/journals-permissions  
DOI: 10.1177/0361198119843088  
journals.sagepub.com/home/trr  


Johannes Gruber<sup>1,2</sup> and Santhanakrishnan Narayanan<sup>3</sup>

## Abstract

Cargo cycles are gaining more interest among commercial users from different business sectors, and they compete with cars in urban commercial transport. Though many studies show the potential of cargo cycles, there is still a reluctance to deploy them. One possible reason for this is the lack of knowledge regarding their suitability in relation to travel time. Therefore, this study aims to explore cargo cycles' travel time performance by quantifying the travel time differences between them and conventional vehicles for commercial trips. The authors compare real-life trip data from cargo cycles with Google's routed data for cars. By doing this, the authors explore the factors affecting the travel time difference and propose a model to estimate this difference. The attributes for the model were selected keeping in mind the ease of obtaining values for the variables. Results indicate cycling trip distance to be the most significant variable. The study shows that expected travel time difference for trips with distances between 0 and 20 km (12.4 mi) ranges from -5 min (cargo cycle 5 min faster) to 40 min with a median of 6 min. This value can decrease if users take the optimal cycling route and the traffic conditions are worse for cars. Although what is an acceptable amount of travel time difference depends on the user, practitioners can be certain of the travel time difference they can expect, which enables them to assess the suitability of cargo cycles for their commercial operations.

Approximately every third journey undertaken in Germany falls into the category of commercial transport, that is, freight deliveries or service trips, with the proportion being even higher in the dense city cores (1). According to forecasts, freight traffic on German roads will continue to rise in the coming years: in 2030, Germany will experience 39% more volume (in ton-miles) compared with 2010 (2). There is a clear political and societal will to develop countermeasures to cope with the negative externalities that coincide with increasing commercial transport operations, such as air and noise pollution, greenhouse gases, congestion, safety hazards, and less urban liveliness. More than 500 European municipalities have imposed vehicle access restrictions (3). The first cities have imposed driving bans for diesel-driven vehicles, with Stuttgart (where Daimler and Porsche have their headquarters) being a prominent example (4). In May 2018, the European Commission sued Germany, the U.K., France, Italy, Romania, and Hungary, stating that these countries had failed to meet NO<sub>x</sub> and PM limits (5). Furthermore, the European Commission set the goal to “achieve essentially CO<sub>2</sub>-free city logistics in major urban centers by 2030” (6).

To minimize the environmental burden of commercial trips, using cleaner and smaller vehicles such as electric cargo cycles for freight operations and service trips is seen as one promising solution (7). A substantial substitution potential for cargo cycles was found for Germany: 8–23% of commercial trips and 1–4% of the corresponding mileage could technically be shifted to cargo cycles (8). Successful commercial use cases for cargo cycles have been found throughout Europe (7, 9).

There are diverging results when it comes to assessing operative feasibility. Some authors use (micro) simulation approaches for concept assessments. For Porto (Portugal), a replacement potential of 10% of conventional vans for distances up to 2 km (1.2 mi) was found to be economically viable (10). For Berlin (Germany),

<sup>1</sup>Deutsches Zentrum für Luft- und Raumfahrt (DLR), German Aerospace Center, Institute of Transport Research, Berlin, Germany

<sup>2</sup>Geography Department, Humboldt University of Berlin, Berlin, Germany

<sup>3</sup>Department of Civil, Geo and Environmental Engineering, Technical University of Munich (TUM), Munich, Germany

## Corresponding Author:

Address correspondence to Johannes Gruber: johannes.gruber@dlr.de

results show a potential 22% reduction in emissions, and cost savings of 28% for parcel providers, if the use of cargo cycles is implemented (11). On the other hand, a similar approach for Seattle, WA, finds that cargo cycles are hardly a cost-efficient solution for last-mile logistics (12). Data from Austin, TX, was used to compare the costs of cargo cycles with the trucks used by the United States (U.S.) Postal Services, and this showed the cost competitiveness for e-trikes, especially in central business districts and during congested traffic conditions (13).

While diversification and performance increases in available cargo cycle models have been noticeable in recent years, many businesses are still reluctant to implement the use of this type of vehicle. Fleet decision-makers and the customers of logistics operators show reservations about using cargo cycles, while the prevalent conditions and cultures of many small-sized cycle freight companies prevent a professionalization of the sector, as has been found in the U.K. (10, 7).

Many consider the load-carrying capacity of cargo cycles to be a deterrent to their application. Though it is unrealistic to consider cargo cycles replacing all forms of motorized commercial transport in urban areas, findings show that a substantial amount of commercial trips being carried out by motorized vehicles can be taken over by cargo cycles in relation to load capacity, as has been shown for point-to-point shipments (14).

Another major factor affecting the successful application of cargo cycles is their travel time performance in comparison with cars. As was hinted in the literature, the travel times of cargo cycles might be one of the operative limits as they are said to only be suitable for short travel distances (10, 13). Time is arguably the most precious asset within commercial transport operations; hence, this paper focuses on this important issue: the (potential) increase in travel time when switching to a smaller and cleaner vehicle. By looking at cargo cycles' travel time differences compared with cars, the intention of this paper is to contribute to the assessment of the cargo cycles' substitution potential within commercial transport operations. The two main research questions addressed are:

1. What are the differences in travel times between cargo cycles and cars when used for commercial transport operations?
2. Which factors, including but not limited to trip distance, payload utilization, time of day, and vehicle type, affect these travel time differences?

The rest of this paper is organized as follows: after a summary of the existing literature, the research setting and methods will be described, followed by descriptive statistics of the cargo cycle trips sample and the model results. Subsequently, an application of the model and a

scenario analysis will be presented. After discussing the findings, this paper ends with a conclusion.

## State of the Art

This section consists of literature findings concerning speed and travel time differences between bicycles or cargo cycles and cars as well as macroscopic factors affecting bicycle and car speed. Generally, the literature concerning cargo cycles and relating to the current research focus is limited; hence, literature findings from both commercial and passenger transport were considered.

One contribution presents an in-depth analysis of two cycle freight operators in New York City using human-powered vehicles (15). It was shown that cargo cycles can be competitive in relation to speed compared with conventional vehicles in congested situations. Results from Porto indicate that the implementation of cargo cycles can lead to better traffic performance (with lesser delay times being one indicator), yet only up to a replacement rate of 10% of conventional vehicles (10).

Concerning passenger transport, speed ranges of electric bicycles and cars show some overlap, as shown for Europe and the U.S., which can be seen as an indicator of the potential for competition between these modes, even in commercial transport operations (16, 17). One analysis compares hailing a taxi with taking a rental bike in New York City for trip distances of up to 6 km (3.7 mi) (18). While this study doesn't address freight movement, some findings might be comparable. The results show that, on average, taxi trips were slightly faster than bicycle trips. However, some influencing factors can cause substantial deviations in the travel time differences between bicycle and taxi. In the following, spheres of influence are grouped into spatial context, time, vehicle, and trip conditions.

Concerning spatial context, it was found for New York City that greater trip distance was a factor favoring trucks over cargo cycles without electric assist, as well as taxi travel times compared with bicycles for private mobility, that is, higher travel time difference can be expected between cycles and cars as the trip distance increases (15, 18). Comparing trip distances between identical origin-destination relations for bicycles and cars, bicycles have the option of taking shortcuts, for example through parks or along one-way streets that are bidirectional for bicycles, which renders travel time savings (17). Hence, cycles can achieve reduced travel time compared with cars. Different elevation levels of origin and destination have an effect on bicycle speed, the speed declining with increasing road grade because of grade resistance (19). On a disaggregate level, a positive influence on cycling speed was found within Montreal's road network because of the availability of good/dedicated bicycle infrastructure (20).

Furthermore, temporal aspects play a role: bicycles have an advantage in relation to speed during times of greater congestion such as morning rush hour periods, as was found for freight and passenger transport (15, 20). On the other hand, empty network conditions that would more likely happen on weekends or during the night would favor increased car speeds (21).

When it comes to type of vehicle, the presence and type of electric assist plays a role. The speed gains of electrically assisted bicycles (predominantly used for private mobility) in Germany are 2–9 km/h (1.2–5.6 mph), because of the lower level of effort required to achieve a higher speed (22). When it comes to cargo cycles, two-wheelers are generally seen as faster than three-wheelers because of the extra effort required to ride three-wheelers. This effect is strengthened by the fact that the usual payloads are higher for three-wheelers (Table 1).

Finally, specific trip conditions could change travel speeds. Several studies look at the influences of weather variables on cycling behavior such as modal share, frequencies, and use duration per day (23). However, results concerning influences on cycling speed and travel time have not been found. For combustion engine vehicles, analyses found significant speed reductions caused by precipitation and inclement weather (24).

Literature findings concerning speed and travel time differences between bicycles and cars show that cycles are promising in relation to speed and travel time. However, it should be noted that an analysis consisting of users from different sectors of commercial transport is still missing and the current study has been designed to fill this gap. Though an in-depth analysis on cargo cycle speed is conducted in, it should be noted that the findings were generated based solely on freight operators in Manhattan and one distinct cargo cycle model (15). Given the diverse needs of different organizations, results based on downtown delivery operators and a single cycle model might not be sufficient, and large-scale research comprising different types of cargo cycles and a wide variety of users and contexts is warranted.

Major factors that should be explored during this research include trip distance, shortcuts available for cycles, road grade, network load (peak and off-peak hours), cargo cycle type (number of wheels and presence of electric assist), and weather conditions (temperature and precipitation). Although, to the best of the authors' knowledge, there is no existing literature on this, the authors would like to explore the effect of payload utilization and car ownership per capita in the cities where the trips were carried out. It would be assumed that increased payload utilization would result in decreased cycle speed. The authors believe that this decrease might not be substantial until a certain threshold (e.g., 3/4 of maximum) of payload utilization has been reached and

would like to analyze this in this research. Regarding car ownership per capita, it can be assumed that higher car densities would increase the probability of congestion and hence lead to an increase in travel time for cars.

## Research Setting

### *Project Background: "Ich entlaste Städte"—The German Cargo Cycle Testing Scheme for Commercial and Public Users*

Despite their great potential, to date cargo cycles have rarely been used in commercial operations. The project "Ich entlaste Städte" ("Taking the load off cities"), managed by the Institute of Transport Research within the German Aerospace Center (DLR), aims to decrease barriers built on uncertainty or a lack of knowledge about the operative feasibility of cargo cycles. Therefore, private companies and public organizations across Germany are being given the opportunity to test a cargo cycle for three months at a very low cost (roughly US\$ 30 monthly). The project is specifically targeted at companies without cargo cycle experience, irrespective of business sector, size, or location. Participating organizations can choose between 18 different cargo cycle models, of several construction types, to cope with heterogeneous demand and use patterns.






## Data Collection

**Cycle Trip Details.** During cargo cycle testing, the participating organizations are required to use a smartphone app which was developed for the purpose of obtaining data. Users manually start and stop GPS track recording and answer trip-related questions, such as trip purpose, payload capacity utilization, or substituted type of vehicle. Trips with inconsistencies (e.g., "jumps" because of insufficient GPS coverage) and round trips were removed. The sample contains 1,421 cargo cycle trips.

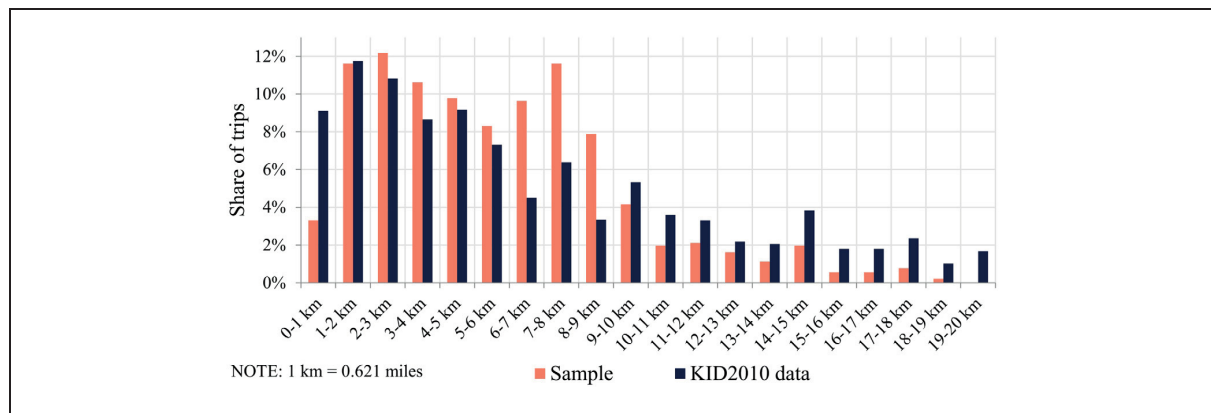
**Car Trip Details.** Equivalent data for the mode "car" was obtained from Google Maps using the latitude and longitude values for the origins and destinations of the cargo cycle trips, day, and starting time (25). The potential of Google Maps' API for travel time estimation has been shown in (26, 27). Two estimates of travel times were obtained, namely "best guess" and "pessimistic". Best guess is the best estimate (most likely value) for travel time and pessimistic value is a value longer than the actual travel time on most days (a value representing the upper end of the travel time distribution, representative of the congested scenario for cars). While "best guess" values were used for model estimation, pessimistic travel



**Table 1.** Fleet and Trip Characteristics

Cargo cycle fleet used							
No. of wheels	Construction type	Side view of typical model	No. of models	Models with electric assist	No. of vehicles	Mean cargo box volume (L)	Share of trips (n=1,421)
2	Pizza delivery bike		1	1x without	8	131	6.1%
	Long John bike		9	1x without 7x Pedelec-25 1x Pedelec-45	56	187	67.8%
	Longtail bike		2	1x without 1x Pedelec-25	4	<i>no cargo box</i>	11.7%
3	Tricycle, front load		5	5x Pedelec-25	15	304	13.7%
	Heavy-load tricycle		1	1x Pedelec-25	1	1300	0.8%
<b>Trip characteristics (n=1,421)</b>							
Cycle trip distance (km)	Min	0.3	Car trip distance (km)		Min	0.3	
	Mean	5.8			Mean	5.9	
	Median	5.3			Median	5	
	Max	18.6			Max	21.5	
Cycle trip travel time (min)	Min	1.3	Car trip travel time (min)		Min	1.2	
	Mean	21.5			Mean	12.8	
	Median	19.7			Median	12.2	
	Max	69.9			Max	39.4	
Cycle trip speed (km/h)	Min	7.9	Car trip speed (km/h)		Min	10.6	
	Mean	15.9			Mean	26.9	
	Median	15.7			Median	24.7	
	Max	32.7			Max	67.1	
Elevation difference between destination and origin (m)	Min	-132.8					
	Mean	1.1					
	Median	0.2					
	Max	137.8					
Temperature (°C)	Min	-9.5	Precipitation (mm/hour)		Min	0	
	Mean	9.5			Mean	0.1	
	Median	8.8			Median	0	
	Max	27.4			Max	5.2	
Intra-day variation (share of trips)	Midnight-6 a.m.	1.2%	Inter-day variation (share of trips)		Mon	15.1%	
	6-7 a.m.	1.0%			Tue	17.7%	
	7-8 a.m.	5.5%			Wed	20.6%	
	8-9 a.m.	6.0%			Thu	16.9%	
	9-10 a.m.	6.6%			Fri	16.6%	
	10-11 a.m.	7.7%			Sat	8.3%	
	11 a.m.-noon	7.4%			Sun	4.8%	
	Noon-1 p.m.	6.2%	Utilization of available loading capacity (share of trips)		Almost empty	21.2%	
	1-2 p.m.	6.2%			One quarter	30.1%	
	2-3 p.m.	6.9%			Half	19.5%	
	3-4 p.m.	6.1%			Three quarter	10.2%	
	4-5 p.m.	5.6%			Full	18.2%	
	5-6 p.m.	7.5%			Overloaded	0.7%	
	6-7 p.m.	8.8%	Trip purpose return trip (share of trips)		Yes	29.5%	
	7-8 p.m.	6.9%					
	8-9 p.m.	3.8%					
	9-10 p.m.	2.8%	Three-wheeled cargo cycle (share of trips)		Yes	14.4%	
	10-11 p.m.	2.5%					
	11 p.m.-midnight	1.3%	Electric assist (share of trips)		Yes	81.3%	

Note: 1 L = 0.0353 ft<sup>3</sup>; 1 km = 0.621 mi; 1 m = 1.094 yd; Fahrenheit temperature F = 1.8 × C + 32.



**Figure 1.** Distribution of trip distances in sample ( $n = 1,421$ ) and KiD2010 ( $n = 2.37$  billion).

times were used for scenario analysis to evaluate the effect of congestion.

**Other Variables and Data.** Further data was collected concerning city size, car ownership, altitude of the trip origins and destinations, air temperature, and precipitation for all involved locations on an hourly basis, and perceived bicycle infrastructure quality (28–32).

Furthermore, data from the most recent national travel survey focusing on commercial transport (KiD2010) was used to create a subsample of trips that are feasible for cargo cycles (33). Filter criteria: vehicle type: motorcycles, cars, or light commercial vehicles with up to 3.5 metric tons (3.2 T) of payload; trip length  $\leq 20$  km (12.4 mi); trip payload  $\leq 50$  kg (110.2 lb.); trip purpose: commercial transport or service trips. Within these criteria, a total of 2.37 billion commercial trips are carried out each year in Germany.

## Sample Descriptive Statistics

### Geographic Background

This analysis sample contains 1,421 cargo cycle trips. These trips were carried out by 84 users located in 44 German municipalities in 14 out of the 16 German states. Naturally, large cities proved to be a favorable setting for alternative vehicle concepts, with 11 users from Berlin and seven users in Munich. While three out of four participating organizations are located in cities with 100,000 or more inhabitants, medium-sized cities and rural areas were also involved.

### Organizational Background

Almost half of the users are self-employed or work as freelancers, underlining that low-cost cargo cycle testing

is highly attractive for this professional group. Participation in the project is not limited to companies; consequently, approximately every fourth user was a public institution, an association, or another type of organization. The sample contains a very diverse collection of business areas, including: café, carpenter, chimney sweep, construction firm, copy shop, courier logistics, facility management, flower delivery, gardener, movie production, municipal agency, pharmacy delivery, and photographer. Concerning turnover, 88% of the organizations are considered micro-enterprises (turnover  $< \text{€}2$  million), while the remainder is quite evenly distributed among small ( $\text{€}2$ – $10$  million), medium-sized ( $\text{€}10$ – $50$  million), and large enterprises ( $> \text{€}50$  million). More than four out of five organizations hadn't had any cargo cycle experience prior to the test.

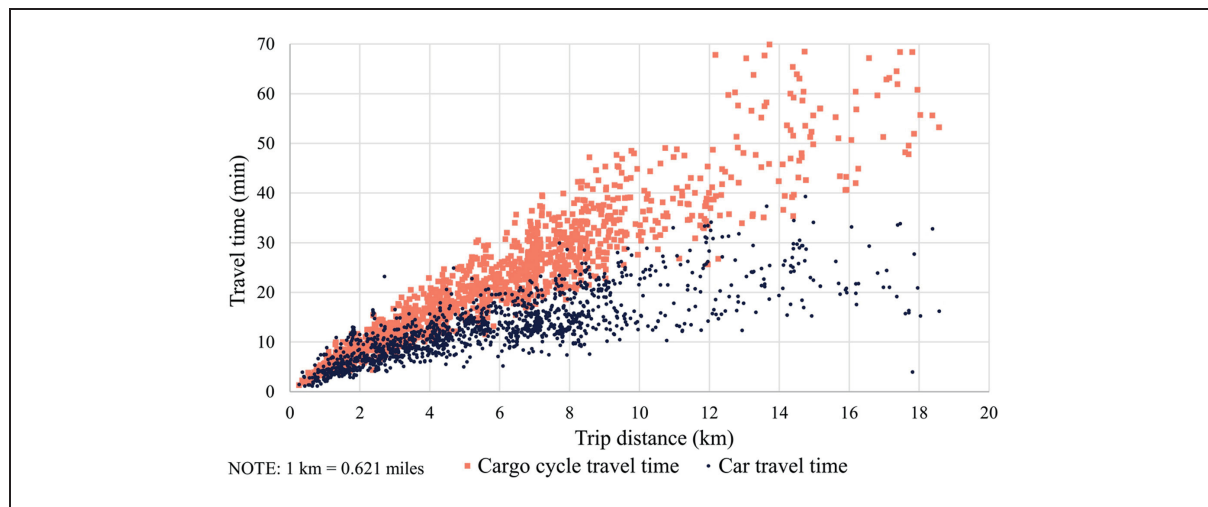
### User Characteristics

It was not possible to collect socio-economic data for all the users because of data privacy concerns. Only 38 users registered their socio-economic data (less than half the number of users in the sample). Exploring the data of the 38 users shows that their ages range from 26 to 61. Among the 38 users, 34 are male and four are female. Nine users earned a net income of below  $\text{€}1,750$ , 10 above  $\text{€}3,000$ , and the rest in between. Only two of the 38 users had experience with cargo cycles before this project.

In summary, looking at geographic background, organizational background, and characteristics of the users, it is certain that the sample includes a broad variety of users.

### Vehicle Characteristics

Participating organizations were offered a selection of 18 different vehicles, which can be grouped into five construction types (Table 1). Parts of the fleet are two-



**Figure 2.** Travel times of cargo cycles and cars versus trip distance.

wheelers and targeted towards more time-critical operations, while tricycles have higher payload capacity and therefore rather lower speed profiles. Most of the models had electric assist up to 25 km/h (15.5 mph), known as “Pedelec-25,” as these vehicles are classified as non-motorized bicycles by EU law. Two models had no electric assist, and one model had electric assist up to 45 km/h (28.0 mph), known as “Pedelec-45”. All models were able to carry a minimum payload of 50 kg (110.2 lb.).

### Trip Characteristics

Figure 1 shows the sample’s trip distance distribution compared with the KiD2010 survey, which is representative for commercial transport in Germany (see “Data Collection”). While for trip distances between 9 and 20 km (5.6–12.4 mi), the sample contains substantially smaller shares of the total amount of trips, it is still the case that, both in the sample and in KiD2010, the vast majority of commercial trips are below 10 km (6.2 mi): 89% of the sample trips and 76% of the KiD2010 trips, respectively.

Table 1 presents in-depth descriptive statistics of the analyzed sample. From the table, it can be ascertained that the dataset consists of a good representation of trips throughout the day (intra-day variation) and also for each day of the week (inter-day variation).

As can be seen in Figure 2, the travel times by cargo cycles and cars overlap, especially for lower-distance trips. As trip distances increase, cars become more advantageous in relation to speed. However it should be noted that, even for longer trips, there are some cases where cargo cycles are faster.

### Model Estimation

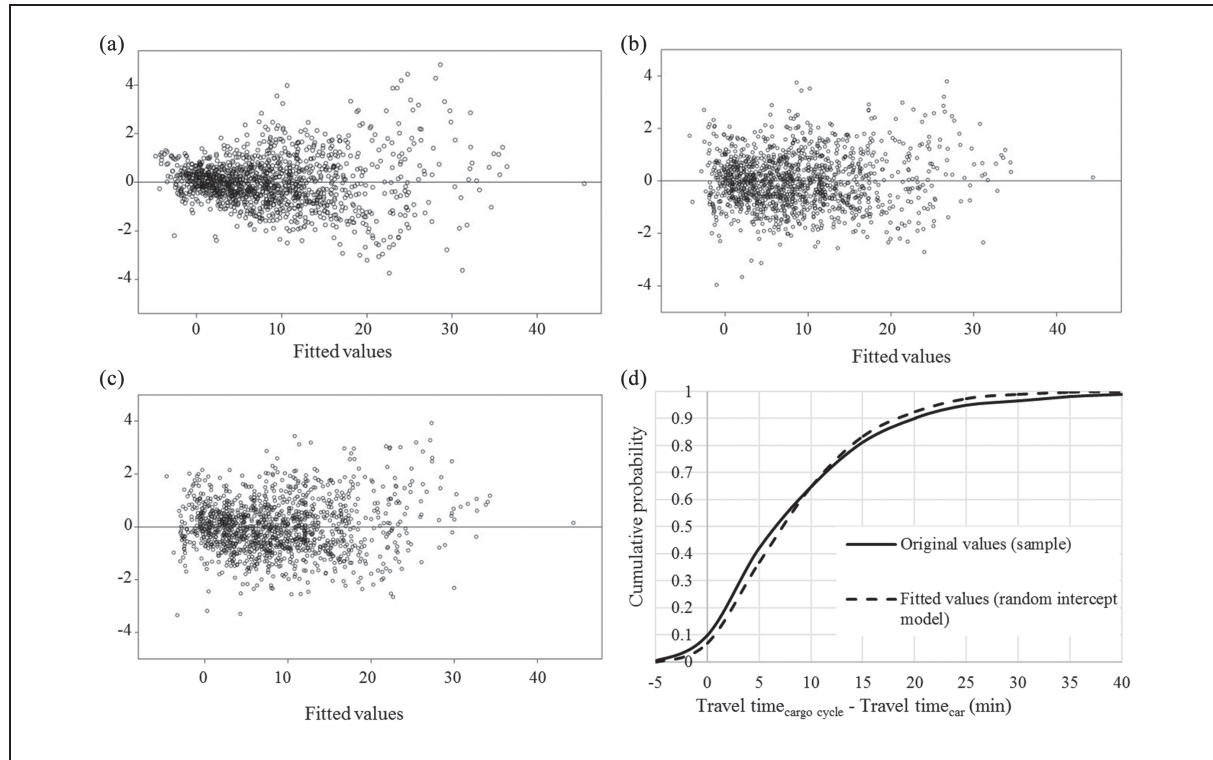
As mentioned earlier, the travel time for the mode “cargo cycle” was taken from the trip details recorded through the official smartphone app while, for the mode “car”, the data was obtained from Google Maps. A regression model will be estimated since the factors are easily interpretable and the model is readily usable. The difference between the travel times of the modes “cargo cycle” and “car” (in min) was considered as the dependent variable for the model.

Regression models based on an ordinary least squares (OLS) approach were tried out initially. Attributes for the model were selected based on the literature. The decision to keep an independent variable was based on the  $p$ -value (significance level 0.10) of the corresponding variable and the adjusted  $R^2$  value of the model obtained upon adding the new variable.

Since the route options available to the mode “car” could increase for longer trips and hence there could be a wider distribution of travel time difference, it was expected that the variance of the residuals would increase as the trip length increases, that is, the residuals were expected to be heteroskedastic. To account for the heteroskedasticity, it was decided to apply weights to the residual variance based on the trip length ( $v$ ; variance covariate), as shown in Equation 1 (34). To implement this, a generalized least squares approach (GLS) was implemented with the same model specification as that of the final OLS model. GLS is efficient over OLS in the presence of heteroskedasticity (35). ANOVA test was used to ascertain the significance of the GLS model.

$$Var(\epsilon) = \sigma^2 v \quad (1)$$





**Figure 3.** Residual distribution from OLS (a), GLS (b), and random intercept Model (c), and Cumulative distribution of original and fitted values of dependent variable (d).

Given that there are multiple observations from individual users, observations would be correlated. The estimated standard errors are biased if this fact is ignored, especially when the model does not contain user-specific attributes (36, 37). Hence, a random intercept model was used to capture the influences of the user on the dependent variable. The suitability of a random intercept model for a dataset containing correlated observations is made obvious in research which shows the application of mixed models in the field of traffic safety (36). Following the estimation of a random intercept model, the intra-class correlation (ICC) was computed based on Equation 2 to substantiate the necessity for a random intercept model (36, 37).

$$ICC = \frac{\text{Variance of the random effect of the intercept}}{\text{Total variance}} = \frac{(\sigma_u)^2}{(\sigma_u)^2 + (\sigma_e)^2} \quad (2)$$

Further, 5-fold cross-validation was carried out to compare the predictive performance of the three model types: OLS, GLS, and the random intercept model (38).

The validation process involves dividing the sample set into five groups of equal size. Estimation is done using four groups while the remaining set is used as a validation set. The estimation is repeated four more times, and each time a different group is considered as the validation set. The process results in five Mean Squared Error (MSE) values, with the final MSE being calculated by averaging the five values. MSE values for each model are computed and compared to assess the predictive performance of the models.

## Model Results

The estimation results from the OLS models show that all the independent variables tested have the expected sign. The OLS model with the variable “cycleTripDistance” had an adjusted  $R^2$  value of 0.648, proving that this variable is the most significant one. The second most significant variable was “distanceDifferenceCarAndCargoCycle,” which improved the adjusted  $R^2$  value from 0.648 to 0.697. Followed by this,  $\log(\text{carOwnership})$  improved the adjusted  $R^2$  value to 0.727. Adding the rest of the significant variables resulted in a minor improvement of the adjusted  $R^2$  value, reaching 0.755 in the final OLS model.

**Table 2.** Estimation Results

Coeff.	OLS model			GLS model			Random intercept model		
	Estimate	Std. err.	t. statistic	Estimate	Std. err.	t. statistic	Estimate	Std. err.	t. statistic
$\beta_{CON}$	3.160	0.593	5.332 (***)	1.760	0.424	4.339 (***)	2.318	0.596	3.889 (***)
$\beta_{TD}$	1.846	0.033	55.699 (***)	1.747	0.030	57.129 (***)	1.696	0.032	53.279 (***)
$\beta_{ED-M}$	0.132	0.027	4.856 (***)	0.131	0.027	4.843 (***)	0.129	0.026	5.017 (***)
$\beta_{ED-E}$	0.025	0.005	4.845 (***)	0.022	0.005	4.763 (***)	0.020	0.004	4.513 (***)
$\beta_{DD}$	-1.657	0.104	-15.927 (***)	-1.784	0.103	-17.110 (***)	-1.665	0.109	-15.308 (***)
$\beta_{CO}$	-0.609	0.071	-8.575 (***)	-0.342	0.052	-7.956 (***)	-0.512	0.106	-4.848 (***)
$\beta_{6-10}$	-2.008	0.447	-4.492 (***)	-1.824	0.360	-4.637 (***)	-1.318	0.357	-3.692 (***)
$\beta_{10-19}$	-1.128	0.375	-3.007 (**)	-1.217	0.300	-3.987 (***)	-0.993	0.296	-3.352 (***)
$\beta_{3W}$	1.779	0.360	4.946 (***)	2.025	0.273	7.872 (***)	2.066	0.504	4.100 (***)
$\beta_{P45}$	-2.359	0.342	-6.889 (***)	-0.930	0.245	-3.800 (***)	-1.292	0.632	-2.044 (*)
$\beta_{T>5}$	-0.865	0.258	-3.358 (***)	-0.290	0.172	-1.686 (.)	—		
$\sigma_{CON}$	—			—			1.126		
5-fold cross-validation	MSE: 20.441			MSE: 20.669			MSE: 20.114		
Goodness of fit indicators	Adj. R <sup>2</sup> : 0.755			AIC: 7711.662			AIC: 7617.105		
	AIC: 8196.194			BIC: 7774.746			BIC: 7680.189		
	BIC: 8259.278			Log likelihood: -3843.831			Log likelihood: -3796.553		
	Log likelihood: -4086.097								

Note: For coefficient names and description, please refer to Table 3.  
 Negative coefficients indicate travel time advantages for cargo cycles.  
 (.):  $p < 0.10$ ; (\*):  $p < 0.05$ ; (\*\*):  $p < 0.01$ ; (\*\*\*) :  $p < 0.001$ .

As expected, the residuals from the OLS model were heteroskedastic (Figure 3a). A visual inspection of the fitted vs residuals plot of the GLS model (Figure 3b) showed that the heteroskedasticity issue has been nullified. The change in significance level of some of the variables in the GLS model reflects the correction applied to heteroskedasticity. In the initial estimation of the random intercept model, the variable “isTemperatureAbove5” was insignificant (t-value: -1.405 and  $p$ -value: 0.160), and hence this variable was removed. As mentioned in the methodology section, a model without random intercept could result in inflation or deflation of the t-values, and the significance of the temperature dummy variable in models without random intercept is an example of this. The intraclass correlation value obtained for the current dataset is 0.33, with a value of 0.20 and above being considered a large value (39). Hence, it is certain that the clustering effect of the users cannot be disregarded, and a random intercept model must be used. Figure 3c shows the fitted vs residuals plots of the random intercept model and Figure 3d shows

the cumulative distribution of travel time difference in the sample and the fitted values from the model.

Comparing the values of the goodness of fit indicators between the GLS model and the final random intercept model clearly showed that the random intercept model is statistically superior. Hence, this model will be used for further analysis. Variables that were insignificant in the OLS model remained insignificant in the random intercept model. The random effect, which represents the variation between the users, is normally distributed with a mean of 0. Though there is no substantial difference in the MSE value obtained for the three models through 5-fold cross-validation, the random intercept model performs slightly better than the other two.

In Table 2, above, the estimates are presented from the final OLS model, the GLS model, and the random intercept model along with the result of the cross-validation and goodness of fit indicators.

In the following, the magnitude of the variables is described. The estimates from the random intercept

**Table 3.** Effects of the Independent Variables

Var. group	Variable name	Description	Coeff.	Coeff. sign	Interpretation and comparison with literature
<b>Significant variables (in random intercept model)</b>					
	Intercept	Model constant	$\beta_{CON}$	+	The positive sign is interpreted as indicative of the superiority of the car in general.
Spatial context	cycleTrip Distance	Cargo cycle trip distance recorded by smartphone app (km)	$\beta_{TD}$	+	With increasing trip distance, it can be expected that cars will be advantageous. In line with (14).
	elevation Difference ManualCycle	Elevation difference between destination and origin (m)—when cargo cycle without electric assist was used	$\beta_{ED-M}$	+	Increasing upward gradient results in increasing grade resistance, which in turn results in increasing travel time for cycles. In line with (19).
	elevation Difference ElectricCycle	Elevation difference between destination and origin (m)—when cargo cycle with electric assist was used	$\beta_{ED-E}$	+	Similar interpretation as for $\beta_{ED-M}$ .
	distance Difference CarAnd CargoCycle	Difference in trip distance between car and cargo cycle ( $Dist_{car} - Dist_{cargo\ cycle}$ ; km)	$\beta_{DD}$	–	With car trip distance higher than the cycle trip distance, travel time for car increases and hence the travel time difference decreases. This shows the effects of shortcuts. In line with (17).
	log(car Ownership)	Car ownership per 1,000 inhabitants in the city where the trip was done	$\beta_{CO}$	–	In cities with high car density, the probability of congestion is higher, hence travel time for car increases.
Time	is MorningTime	Dummy variable: trip started between 6 and 10 a.m.	$\beta_{6-10}$	–	During the morning peak, the travel time for car is generally higher, hence travel time difference decreases. Also, cyclists travel faster during this time compared with night and early morning (20).
	is DayTime	Dummy variable: trip started between 10 a.m. and 7 p.m.	$\beta_{10-19}$	–	Trips other than home-based work and school trips are usually done in the afternoon after the morning peak, and in the evening, all kinds of trips are seen. Hence, travel time for car is generally higher during this time because of congestion. Also, cyclists travel faster during this time compared with night and early morning (20).
Vehicle	is ThreeWheeler	Dummy variable: three-wheeled cargo cycle was used	$\beta_{3W}$	+	Three wheelers are slower because of higher payload capacity and the extra effort required to ride them compared with two wheelers (see Table 1).
	is Pedelec45	Dummy variable: trip was done using cargo cycle with “Pedelec-45” electric assist (Table 1)	$\beta_{P45}$	–	Higher speed achievable with less effort, hence reduction in travel time difference.

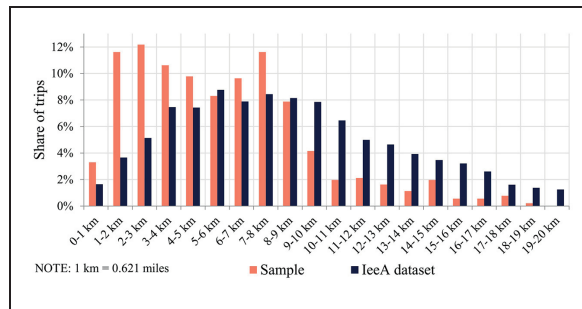
(continued)

Table 3. (continued)

Var. group	Variable name	Description	Coeff.	Coeff. sign	Interpretation and comparison with literature
<b>Insignificant variables (in random intercept model)</b>					
Spatial context	isCitySize Large / isCitySize Medium / isCitySize Small	Dummy variable: Population of the city/municipality where the trip was done		– + +	Because of higher possibility of congestion (as shown by (40) for U.S. cities), cargo cycles are advantageous in larger cities.
	bikeInfra Quality Index	Perceived bicycle infrastructure quality index of the city where the trip was done (32)		–	Better cycling infrastructure supports higher cycling speed, hence reduction in travel time difference (20).
Time	isWeekEnd	Dummy variable: trip was done on Saturday or Sunday		+	Less congestion on main roads and therefore higher driving speed possible for cars.
Vehicle	isElectric	Dummy variable: trip was done using cargo cycle with “Pedelec-25” or “Pedelec-45” electric assist (Table 1)		–	Same interpretation as that of isPedelec45 applies here.
Trip condition	isFullyOrOverLoaded	Dummy variable: cargo cycle was fully or overloaded during trip (stated by rider within smartphone app)		+	Loading more than three quarters of the available loading capacity significantly reduces cycling speed, hence increasing the travel time difference.
	isReturnTrip	Dummy variable: trip purpose is return to point of origin (stated by rider within smartphone app)		+	Users tend to cycle slowly for return trips as there is no time pressure.
	is Temperature Above5	Dummy variable: temperature during the trip is above 5°C (41°F)	$\beta_{T>5}$	–	Air becomes denser at lower temperatures; hence air resistance and tire rolling resistance increases. Therefore, as temperature increases, cyclists can achieve faster speeds and hence a reduction in travel time difference.
	Temperature	Temperature during the trip (°C)		–	Same interpretation as for isTemperatureAbove5 applies here.
	Precipitation	Quantity of precipitation (mm/h) at departure time		–	Reduction in car driving speed because of rain (to avoid skidding and other similar problems), hence reduction in travel time difference.

model show that with every km (0.6 mi) increase in cycling trip distance the time difference value can be expected to increase by 1.70 min. While one meter (1.1 yd) difference in elevation between the origin and destination can change the dependent variable value by 0.13 min when using a manual cycle, the effect is much less when using an electric cycle, ranging around 0.02 min per meter. A 1 km (0.6 mi) difference in trip distance between car and cargo cycle (trip distance of car being higher) can, on average, reduce

the travel time difference by 1.66 min. This shows the advantage of the shortcuts available for cycles. When a trip is done during the morning peak hour, around 1.32 min can be saved if a cargo cycle is used instead of a car, and the saving in travel time during the afternoon and the evening peak is around one minute. Using a three-wheeler instead of a two-wheeler cycle can delay the trip by, on average, 2 min. Using a “Pedelec 45” electric cycle can reduce travel time by 1.29 min.



**Figure 4.** Distribution of trip distances in sample ( $n = 1,421$ ) and IeeA dataset ( $n = 9,821$ ).

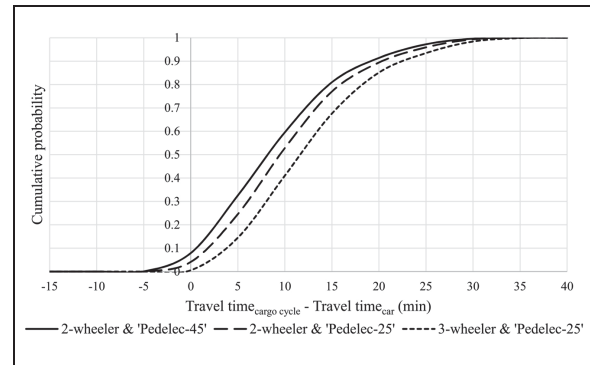
Besides giving more detailed information about names and types of variables, Table 3 above depicts the directions of effects along with the interpretation of the effect, both for significant and insignificant variables.

### Model Application

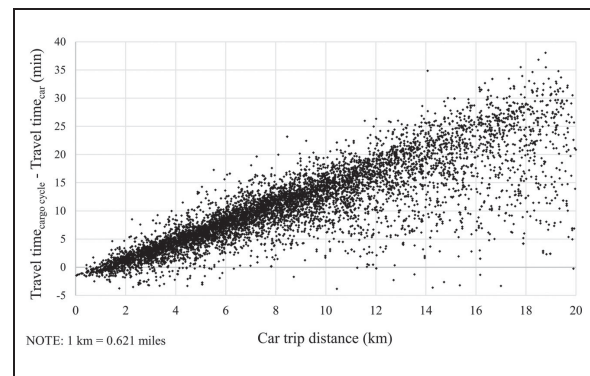
The results from the random intercept model were applied to an out-of-sample prediction of 9,821 car trips taken from the IeeA database, a database of point-to-point shipments collected by DLR during the current project's predecessor "Ich ersetze ein Auto" ("I substitute a car") (14). All 9,821 trips were made by car in March 2014, by 205 individual (self-employed) messengers in eight German cities. Actual car delivery origins, destinations, and time stamps of the trips from the IeeA database were used. A comparison of the distributions of trip distances from the main sample and the IeeA dataset is shown in Figure 4.

The s-curve in Figure 5 is constructed based on the predictions for the IeeA dataset. The figure shows that around 50% of the trips can be done with a maximum delay of around 10 min if the users use a two-wheeled cargo cycle with "Pedelec-25" electric assist, and, in the case of a three-wheeled "Pedelec-25" cargo cycle, the median value is around 12 min. If the user uses faster electric assist ("Pedelec 45") on a two-wheeler, 50% of the trips can be done with a maximum delay of 8 min. The maximum delay that can be expected for all the trips is less than 40 min. Hence, even during time-critical situations, cargo cycles are viable alternatives to cars, though not in every case. This result shows that the range of expected travel time difference is consistent.

Figure 6 shows the plot between car trip distance and predicted travel time difference for a two-wheeled cargo cycle with "Pedelec-25" electric assist and a car. This type of cargo cycle is highlighted because of its common usage, both in the sample (Table 1) and in commercial operations in general (8). The plot clearly shows that



**Figure 5.** Cumulative probability distributions for travel time difference between cargo cycles and cars for the trips collected from the IeeA database.



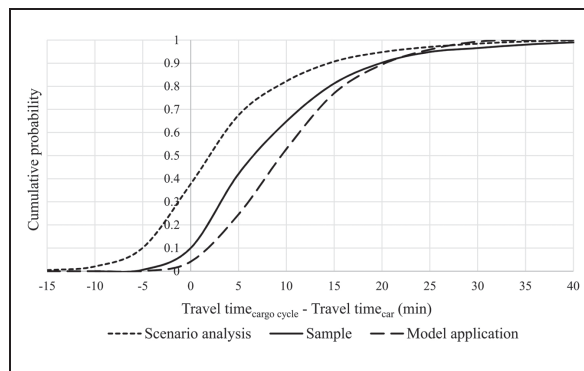
**Figure 6.** Travel time difference between cargo cycle and car versus trip distance for two-wheeled cargo cycles with "Pedelec-25" electric assist.

there are a few cases where a cargo cycle is faster in relation to travel time, even for trips longer than 10 km (6.2 mi). A look into those data points reveals that this is mainly because of the difference in distance between cycle route and car route. This serves as evidence that cycles are better able to compete with cars in cities where shortcuts are available for cycles.

### Scenario Analysis

Many cargo cycle trips in the sample dataset were conducted through suboptimal routes (not the shortest route in relation to trip distance; decided based on comparison with Google's bicycle routing). To help practitioners get a feel of what could happen if the users take the optimal cycle route and the situation for cars is worse (highly congested), a scenario analysis was added.

A correction factor was generated based on the formula in Equation 3. This correction factor was applied to



**Figure 7.** Cumulative probability distributions for travel time differences between cargo cycles and cars.

the trip distance for the trips in the sample, allowing the corrected trip distance and the average speed of the trips from the sample to be used to generate new travel times for each trip. Further, one minute will be subtracted from the travel time for starting and ending the smartphone app at origin and destination. Google's "pessimistic values" would be considered as the travel times for cars as they are representative of a congested scenario for cars.

$$\text{correction Factor} = \frac{\text{mean}(\text{Trip distance}_{\text{Google bicycle routing}})}{\text{mean}(\text{Trip distance}_{\text{cargo cycle}})} \quad (3)$$

The value of correction Factor obtained is 0.95, meaning that the users have not chosen an optimal bicycle route but rather used familiar streets accepting (smaller) detours. The scenario analysis s-curve in Figure 7 was constructed based on the new travel time difference, cyclists taking an optimum route and the cars facing above normal congestion. The other two curves represent the original travel time difference value used for model estimation (curve "Sample") and the predicted travel time difference value for the IeeA dataset (curve "Model application").

As can be interpreted from the figure, though the trip length distribution can change the steepness of the s-curve, the range of values remains almost consistent. However, a change in traffic conditions would change both the steepness and the range of values.

## Discussion

The findings from this study show that about half of the commercial transport trips switched from cars to cargo cycles wouldn't be delayed more than 2–10 min and 90% of the trips could be switched with less than 20 min delay. It should be noted that the current study did not consider other possible extra trip times for cars

such as time for parking or walking to the exact spot of destination, the inclusion of such would decrease the expected travel time gap. There are, surprisingly, quite a few examples of cargo cycles having travel time advantages over cars, even at longer trip distances. While it is unfortunate not to offer a precise value for the travel time differences between cargo cycles and cars, the presented results should allow most commercial transport operators to make a reliable individual assessment. To achieve planning security in relation to delays, a relatively high travel time surplus per trip must be taken into account. However, the authors believe that operators are willing to accept a certain level of delay in return for the positive effects of switching to a cleaner vehicle.

As the scenario analysis shows, greater congestion on the road network could result in a different range of travel time delays. With cities becoming more and more congested and the government banning the entry of cars into certain streets, the possibility of an increase in travel time for cars is high, and hence it is expected that the travel time difference between cargo cycles and cars will be greatly reduced in future. This suggests that companies may benefit from using cargo cycles instead of cars.

Our findings quantify the influences of spatial context, time, vehicle-based attributes, and specific trip conditions. Concerning spatial attributes, while trip distance and the elevation favor the car, higher numbers of cars per capita in the respective city favors cargo cycles. Both in the morning and during the day up to 7 p.m. showed advantages for cargo cycles, mainly because of higher road network occupation and congestion delays for cars. Benefitting from the large variety of cargo cycle models involved in the sample, it was possible to show that two-wheelers are faster than three-wheelers and, as expected, cargo cycles are faster with electric assist. Loading more than three quarters of the available loading capacity will substantially decrease the cycling speed.

The novel aspect to the findings is that they were obtained using a large dataset of diverse real-life cargo cycle operations. Furthermore, the collected data is not too skewed compared with lightweight commercial transport up to 20 km (12.4 mi) trip distance in general. A further strength of this study is that it is including greater trip distances (up to 20 km) than other studies, which stop at 2 km (1.2 mi) or 6 km (3.7 mi) (10, 18). This broader range increases the practical relevance of the results, as predictions for travel time differences between cargo cycles and cars can be made for a larger set of commercial trips.

This study also has its limitations. This work is based on a comparison of real-life cargo cycle trips with fictitious car trips that represent not the true value but rather historic averages. However, Google's



routing data has been shown to be reliable in this regard. Naturally, there are more factors that could potentially affect travel time differences between cargo cycles and cars, two of which being socio-demographic attributes and attributes of the built environment such as type of bicycle infrastructure. The authors suggest future researchers explore such attributes. Further, a regression model is proposed because of the lower level of effort required to interpret and use this model. The model is meant to be readily used by the individual operators and business entities involved in commercial transport operations. However, the calibration of an existing simulation system could be tested in the future, which might be useful for large-scale business organizations.

## Conclusion

Cargo cycles are a viable potential alternative to combustion engine vehicles for many commercial transport operations, supporting cities to achieve air quality and carbon emission reduction goals. However, it was unclear whether cargo cycles are competitive enough in relation to travel time to replace existing vehicles. Building on cargo cycle trip data from 84 organizations throughout Germany, the estimated model can be used to predict the travel time differences between cargo cycles and cars. It is an important tool to assess travel time competitiveness of cargo cycles and to break down the reservations that currently exist among many operators. Values for the variables included in the model can easily be obtained, and hence this model can be readily used by a company's decision-maker.

The travel time differences from both the sample and IeeA dataset show that a range of values can be expected based on the trip context. However, it is certain that the maximum travel time difference expected is around 40 min, even for a trip distance of 20 km (12.4 mi), with encouraging median delay values of 2–10 min. An explanation was discussed as to why this can serve as orientation for operators determining the feasibility of switching to cargo cycles. In conclusion, though a range of travel time differences can be expected based on the context of a trip, the application of cargo cycles is still promising.

Overall, the findings should give companies the confidence to try out cargo cycles and allow policy-makers to support the transition to smaller vehicles in commercial transport operations, given the potential to reduce transport-related emissions.

## Acknowledgments

This research was funded by the German Federal Ministry for the Environment, Nature Conservation and Nuclear Safety

(project 03KF0066). The authors would like to express their gratitude to the four reviewers who helped to improve the manuscript substantially. The authors also want to thank Prof. Dr. Constantinos Antoniou, Emmanouil Chaniotakis (both TUM), Lars Thoma (DLR), and Dr. Alexander Kihm (Fairr.de pension solutions) for critical discussion, as well as Karolin Bludau and David Brunner (DLR) for references management.

## Author Contributions

The authors confirm contribution to the paper as follows—study conception and design: JG; data collection: JG, SN; analysis and interpretation of results: JG, SN; draft manuscript preparation: JG, SN. Both authors reviewed the results and approved the final version of the manuscript.

## References

1. Menge, J., and B. Horn. Fahrradnutzung im Wirtschaftsverkehr. In *HKV – Handbuch der kommunalen Verkehrsplanung* (T. Bracher, K. Dziekan, J. Gies, H. Holzapfel, F. Huber, F. Kiepe, U. Reutter, K. Saary, and O. Schwedes, eds.), 69. Ergänzungslieferung, Verlag Wichmann, Berlin, 2014.
2. BMVI. *Verkehrsprognose 2030*. Bundesministerium für Verkehr und digitale Infrastruktur, 2014. [www.bmvi.de/SharedDocs/DE/Anlage/VerkehrUndMobilitaet/verkehrsprognose-2030-praesentation.pdf?\\_\\_blob=publicationFile](http://www.bmvi.de/SharedDocs/DE/Anlage/VerkehrUndMobilitaet/verkehrsprognose-2030-praesentation.pdf?__blob=publicationFile). Accessed July 31, 2018.
3. Kassida, C. *Urbaner Wirtschaftsverkehr. Herausforderungen für leichte Nutzfahrzeuge und Vorstellung der Projektinitiative Urbane Logistik Hannover (USEfUL)*. Hannover, 2016. [www.now-gmbh.de/content/1-aktuelles/1-presse/20171023-now-startet-austausch-zu-nachhaltigen-konzepten-fuer-staedtischen-wirtschaftsverkehr/now\\_ws-urbaner-wirtschaftsverkehr\\_vortrag\\_kassida.pdf](http://www.now-gmbh.de/content/1-aktuelles/1-presse/20171023-now-startet-austausch-zu-nachhaltigen-konzepten-fuer-staedtischen-wirtschaftsverkehr/now_ws-urbaner-wirtschaftsverkehr_vortrag_kassida.pdf). Accessed February 16, 2019.
4. Bennhold, K. In Germany's Car Capital, the Unthinkable: The Right to Ban Cars. *The New York Times*, 2018. [www.nytimes.com/2018/02/27/world/europe/diesel-driving-ban-germany-stuttgart.html](http://www.nytimes.com/2018/02/27/world/europe/diesel-driving-ban-germany-stuttgart.html). Accessed February 16, 2019.
5. European Commission. *Air Quality: Commission Takes Action to Protect Citizens from Air Pollution*. Brussels, 2018. [http://europa.eu/rapid/press-release\\_IP-18-3450\\_en.htm](http://europa.eu/rapid/press-release_IP-18-3450_en.htm). Accessed February 16, 2019.
6. European Commission. *White Paper. Roadmap to a Single European Transport Area – Towards a Competitive and Resource Efficient Transport System*, 2011. [www.eur-lex.europa.eu/legal-content/EN/TXT/PDF/?uri=CELEX:52011DC0144&from=EN](http://www.eur-lex.europa.eu/legal-content/EN/TXT/PDF/?uri=CELEX:52011DC0144&from=EN). Accessed July 20, 2018.
7. Schliwa, G., R. Armitage, S. Aziz, J. Evans, and J. Rhoades. Sustainable City Logistics – Making Cargo Cycles Viable for Urban Freight Transport. *Research in Transportation Business & Management*, Vol. 15, 2015, pp. 50–57.
8. Gruber, J., and C. Rudolph. *Untersuchung des Einsatzes von Fahrrädern im Wirtschaftsverkehr (WIV-RAD)*, 2016. [http://www.bmvi.de/SharedDocs/DE/Anlage/VerkehrUndMobilitaet/Fahrrad/wiv-rad-schlussbericht.pdf?\\_\\_blob=publicationFile](http://www.bmvi.de/SharedDocs/DE/Anlage/VerkehrUndMobilitaet/Fahrrad/wiv-rad-schlussbericht.pdf?__blob=publicationFile). Accessed July 31, 2018.

9. Lenz, B., and E. Riehle. Bikes for Urban Freight? – Experience for the European Case. *Transportation Research Record: Journal of the Transportation Research Board*, 2013. 2379: 39–45. [www.dx.doi.org/10.3141/2379-05](http://www.dx.doi.org/10.3141/2379-05). Accessed July 31, 2018.
10. Melo, S., and P. Baptista. Evaluating the Impacts of Using Cargo Cycles on Urban Logistics: Integrating Traffic, Environmental and Operational Boundaries. *European Transport Research Review*, Vol. 9, 2017, pp. 1–10.
11. Zhang, L., T. Matteis, C. Thaller, and G. Liedtke. Simulation-Based Assessment of Cargo Bicycles in Urban Parcel Distribution. Presented at 97th Annual Meeting of the Transportation Research Board, Washington, D.C., 2018.
12. Butrina, P., M. Sheth, A. Goodchild, and E. McCormack. Measuring the Cost Trade-Offs Between Electric-Assist Cargo Bikes and Delivery Trucks Dense Urban Areas. Presented at 97th Annual Meeting of the Transportation Research Board, Washington, D.C., 2018.
13. Choubassi, C., D. P. K. Seedah, N. Jiang, and C. M. Walton. Economic Analysis of Cargo Cycles for Urban Mail Delivery. *Transportation Research Record: Journal of the Transportation Research Board*, 2016. 2547: 102–110.
14. Gruber, J., A. Kihm, and B. Lenz. A New Vehicle for Urban Freight? An Ex-Ante Evaluation of Electric Cargo Bikes in Courier Services. *Research in Transportation Business & Management*, Vol. 11, 2014, pp. 53–62.
15. Conway, A., J. Cheng, C. Kamga, and D. Wan. Cargo Cycles for Local Delivery in New York City: Performance and Impacts. *Research in Transportation Business & Management*, Vol. 24, 2017, pp. 90–100.
16. BMVIT (Austrian Federal Ministry for Transport, Innovation and Technology). *Der Faktor Zeit im Radverkehr*, Wien, 2016. [www.bmvit.gv.at/service/publikationen/verkehr/fuss\\_radverkehr/downloads/radfahren\\_zeitfaktor.pdf](http://www.bmvit.gv.at/service/publikationen/verkehr/fuss_radverkehr/downloads/radfahren_zeitfaktor.pdf). Accessed July 20, 2018.
17. Tranter, P. Effective Speed: Cycling because it's "Faster". In *City Cycling* (J. Pucher, and R. Buehler, eds.), The MIT Press, Cambridge, 2012, pp. 57–74.
18. Faghih-Imani, A., S. Anowar, E. J. Miller, and N. Eluru. Hail a Cab or Ride a Bike? A Travel Time Comparison of Taxi and Bicycle-Sharing Systems in New York City. *Transportation Research Part A: Policy and Practice*, Vol. 101, 2017, pp. 11–21.
19. Tengattini, S., and A. Y. Bigazzi. Context-Sensitive, First-Principles Approach to Bicycle Speed Estimation. *IET Intelligent Transport Systems*, Vol. 11, 2017, pp. 411–416.
20. Strauss, J., and L. F. Miranda-Moreno. Speed, Travel Time and Delay for Intersections and Road Segments in the Montreal Network Using Cyclist Smartphone GPS Data. *Transportation Research Part D: Transport and Environment*, Vol. 57, 2017, pp. 155–171.
21. Laflamme, E. M., and P. J. Ossenbruggen. Effect of Time-of-Day and Day-of-the-Week on Congestion Duration and Breakdown: A Case Study at a Bottleneck in Salem, NH. *Journal of Traffic and Transportation Engineering (English Edition)*, Vol. 4, 2017, pp. 31–40.
22. Schleinitz, K., T. Petzoldt, L. Franke-Bartholdt, J. Krems, and T. Gehlert. The German Naturalistic Cycling Study – Comparing Cycling Speed of Riders of Different E-Bikes and Conventional Bicycles. *Safety Science*, Vol. 92, 2017, pp. 290–297.
23. Böcker, L., and S. Thorsson. Integrated Weather Effects on Cycling Shares, Frequencies, and Durations in Rotterdam, the Netherlands. *Weather, Climate, and Society*, Vol. 6, 2014, pp. 468–481.
24. Akin, D., V. P. Sisiopiku, and A. Skabardonis. Impacts of Weather on Traffic Flow Characteristics of Urban Freeways in Istanbul. *Procedia – Social and Behavioral Sciences*, Vol. 16, 2011, pp. 89–99.
25. Melo, R. A., and D. Zarruk. *gmapsdistance: Distance and Travel Time Between Two Points from Google Maps*. R Package Version 3.1, 2016. <https://github.com/rodazuero/gmapsdistance>. Accessed July 30, 2018.
26. Wang, F., and Y. Xu. *Estimating O-D Travel Time Matrix by Google Maps API: Implementation, Advantages, and Implications*. *Annals of GIS*, Vol. 17, No. 4, 2011, pp. 199–209. <https://doi.org/10.1080/19475683.2011.625977>.
27. Dumbliuskas, V., V. Grigonis, and A. Barauskas. *Application of Google-Based Data for Travel Time Analysis: Kaunas City Case Study*. *PROMET – Traffic & Transportation*, Vol. 29, No. 6, 2017, p. 613. <https://doi.org/10.7307/ptt.v29i6.2369>.
28. BBSR. *Stadt- und Gemeindetyp*. German Federal Institute for Research on Building. Urban Affairs and Spatial Development, Bonn, 2015. [www.bbsr.bund.de/BBSR/DE/Raumb Beobachtung/Raumabgrenzungen/StadtGemeindetyp/download-ref-sgtyp.xls?\\_\\_blob=publicationFile&v=10](http://www.bbsr.bund.de/BBSR/DE/Raumb Beobachtung/Raumabgrenzungen/StadtGemeindetyp/download-ref-sgtyp.xls?__blob=publicationFile&v=10). Accessed July 31, 2018.
29. Kraftfahrt-Bundesamt. *Bestand an Kraftfahrzeugen und Kraftfahrzeuganhängern nach Gemeinde*, Kraftfahrt-Bundesamt, Flensburg, 2018. [https://www.kba.de/SharedDocs/Publikationen/DE/Statistik/Fahrzeuge/FZ/2018/fz3\\_2018.xls.xls?\\_\\_blob=publicationFile&v=4](https://www.kba.de/SharedDocs/Publikationen/DE/Statistik/Fahrzeuge/FZ/2018/fz3_2018.xls.xls?__blob=publicationFile&v=4). Accessed July 30, 2018.
30. Cooley, D. *googleway: Accesses Google Maps APIs to Retrieve Data and Plot Maps*. R Package Version 2.2.0, 2017. <https://CRAN.R-project.org/package=googleway>. Accessed July 30, 2018.
31. DWD. *WESTE-XL*. Germany's National Meteorological Service, Offenbach. [www.dwd.de/DE/leistungen/weste/westextl/weste\\_xl.html?nn=342632](http://www.dwd.de/DE/leistungen/weste/westextl/weste_xl.html?nn=342632). Accessed July 30, 2018.
32. ADFC. *Fahrradklima Test 2016. Ergebnistabelle Stadtgrößengruppen*. Allgemeiner Deutscher Fahrrad-Club, Berlin, 2016.
33. BMVBS. *Mobilitätsstudie „Kraftfahrzeugverkehr in Deutschland 2010“ (KID 2010)*. Bundesministerium für Verkehr, Bau und Stadtentwicklung, Braunschweig, 2012.
34. Pinheiro, J. C., and D. M. Bates. Extending the Basic Linear Mixed-Effects Model. In *Mixed-Effects Models in S and S-PLUS* (J. C. Pinheiro, and D. M. Bates, eds.), Springer-Verlag, Inc., New York, 2000, pp. 201–270.
35. Greene, W. H. The Generalized Regression Model and Heteroscedasticity. In *Econometric Analysis*. Prentice Hall, Boston, 2012, pp. 257–289.
36. Dupont, E., and H. Martensen. *Multilevel Modelling and Time Series Analysis in Traffic Research – Methodology*. Deliverable D7.4 of the EU FP6 project SafetyNet, 2007.



37. Moulton, B. R. Random Group Effects and the Precision of Regression Estimates. *Journal of Econometrics*, Vol. 32, 1986, pp. 385–397.
  38. James, G., D. Witten, T. Hastie, and R. Tibshirani. *An Introduction to Statistical Learning with Applications in R*. Springer Science+Business Media, New York, 2013.
  39. Kreft, I., and J. de Leeuw. Introduction. In *Introducing Multilevel Modeling*, Sage Publications, Inc., London, 1998, pp. 1–21.
  40. Chang, Y. S., Y. J. Lee, and S. S. B. Choi. Is there More Traffic Congestion in Larger Cities? Scaling Analysis of the 101 Largest U.S. Urban Centers. *Transport Policy*, Vol. 59, 2017, pp. 54–63.
- The Standing Committee on Urban Freight Transportation (AT025) peer-reviewed this paper (19-01354).*